I PRINCIPJ E GLI ELEMENTI

DELLA FISICA

I PRINCIPJ E GLI ELEMENTI

DELLA FISICA

ESPOSTI

DA

BERNARDINO ZAMBRA

PROFESSORE DI FISICA E STORIA NATURALE NELL'I. R. GINNASIO LICEALE DI VENEZIA.

MILANO
DOTT. FRANCESCO VALLARDI, TIPOGRAFO-EDITORE
Contr. Olmetto a S. Alessandro, N. 3930-B

1854.

I PRINCIPJ E GLI ELEMENTI

DELLA FISICA

ESPOSTI

DA

BERNARDINO ZAMBRA

PROFESSORE DI FISICA E STORIA NATURALE NELL'I. R. GINNASIO LICEALE
DI VENEZIA.

TOMO II.

DELLE CAUSE DEI FENOMENI.

MILANO
DOTT. FRANCESCO VALLARDI, TIPOGRAFO-EDITORE
Contr. Olmetto a S. Alessandro, N. 3930-B

1854.

PARTE SECONDA

DELLE CAUSE DEI FENOMENI

PRINCIPII GENERALI.

238. *Origine della idea di causa fisica.* Io voglio movere un braccio e lo movo; io voglio passeggiare e passeggio. La dipendenza di questi movimenti dagli atti della volontà è un fatto di coscienza. Tale dipendenza fa avvertire allo spirito l'idea della relazione di effetto e causa (causalità).

Lo spettacolo della successione dei fenomeni della natura ci invita ad applicare ad essi questa idea; quindi immaginiamo come *causa fisica* di un fatto un altro fatto, o un concorso d'altri fatti, che nel sistema delle cose materiali *precede* quello e lo determina *necessariamente* e *totalmente.* Il fatto così determinato, se si considera in corrispondenza alla sua causa, dicesi *effetto* di essa. Il concetto di causalità fisica si risolve ad occhio nelle tre condizioni seguenti, che presentano altrettanti caratteri della causalità: 1.° la causa dev'essere *anteriore* all'effetto; 2.° la dipendenza dell'effetto dalla causa dev'essere *necessaria;* 3.° l'effetto dev'essere *proporzionato* alla causa. Il primo carattere non tocca punto l'efficienza dei fenomeni; questi possono essere successivi nel tempo senza che l'uno produca l'altro. Il secondo carattere include l'efficienza dei fenomeni, esso è propriamente il carattere essenziale della causalità; senza di esso la successione dei fenomeni sarebbe a caso. Il terzo carattere suppone che l'efficienza sia già nota ed anzi esattamente misurata, ond'esso non è verificabile se non dopo verificato il secondo, e serve unicamente a decidere se un fatto deriva in totalità o solo in parte da un altro.

239. *Ricerca delle cause fisiche come la fa il senso comune.* Con la norma di questi caratteri l'uomo si accinge alla ricerca delle cause fisiche, dalla quale dipende il valore e l'esistenza

istessa della naturale filosofia, il cui istituto è di conoscere le cose per le loro cagioni (§ 4).

Il senso comune ravvisa presto nella natura i caratteri della causalità. Egli vede fenomeni succedere ad altri fenomeni; egli accetta la costanza di successione di due fenomeni come una prova della dipendenza dell'uno dall'altro; egli osserva che quando una serie di fenomeni che si succedono costantemente viene a ripetersi con diversa misura, la grandezza dei fenomeni conseguenti sembra proporzionarsi a quella degli antecedenti. Dippiù, l'avvicendarsi periodico dei fenomeni, che è cagione e guarentigia delle nostre aspettative, la conservazione e la riproduzione degli esseri, l'energica regolarità della natura nella immensità delle sue operazioni, lo spettacolo continuo dell'armonia universale lo traggono a proclamare altamente una concatenazione di cause che tutto abbraccia ed esclude la balìa di una cieca fortuna. Giusta questo concetto del senso comune le cause fisiche si trovano col salire da un anello agli altri anteriori nella catena dei fenomeni mercè il carattere della costanza di successione.

240. *Concetto della ricerca scientifica delle cause fisiche.* Ma il filosofo sa che la costanza di successione di due fenomeni, non implica la necessità della loro dipendenza, e però guarda se gli venga fatto di accertare per altra guisa questa necessità. Dalla massima che in una sostanza materiale non può darsi un cambiamento di cui sia principio unico ed assoluto la sostanza medesima (V. § 27 con la nota) egli inferisce la dipendenza delle mutazioni in generale; ma, ammessa la causalità in generale, è da vedere se si può dimostrare in particolare la necessità della procedenza di un certo fenomeno da un certo altro, il che appunto si richiede nelle singole istanze della filosofia naturale. Questa dimostrazione è ella possibile? Mentre si ascende da un fenomeno ai fenomeni antecedenti in traccia delle connessioni dei fatti, come vuole il primo carattere della causalità, non si può certo dimostrare che quelle connessioni son necessarie. La necessità di connessione non si dimostra cercando antecedenze, ma sibbene svolgendo conseguenze, ed a ciò nel caso nostro vuolsi avere l'esatta misura della virtù produttiva propria di un fenomeno. Ora, questa virtù non è esplicita in ogni fenomeno, dunque bisogna proseguire sulla scala delle connessioni fino a che si trova un fenomeno così semplice in sè che si possa valutarne esattamente l'efficienza. Allora si ha in tale efficienza il capo di un filo

che può guidarci, nel tornare indietro sulla via percorsa, a ravvisare nelle successive conseguenze di quel fenomeno la necessità delle connessioni già avvertite. Sarà dunque possibile di sciogliere il problema vitale della naturale filosofia quando sia concesso all'uomo di salire nella scala dei fenomeni fino ad uno la cui potenza sia tutta esplicita e si possa misurare. Vedremo che in qualche parte della fisica fu già dato all'uomo di poggiare a tale altezza. Ecco intanto la via che vi conduce.

241. *Processo della ricerca scientifica delle cause fisiche. Forza. Ipotesi.* Si accetti interinalmente come prova della dipendenza di due fatti quella che viene ammessa dal senso comune, cioè la costanza di successione dei due fatti stessi, e però si consideri come causa di un fenomeno quel fenomeno. dato il quale, succede sempre l'altro, giusta la sentenza di Galileo che dice: « quella e non altra si deve propriamente stimar causa, la quale posta segue sempre l'effetto, e rimossa si rimove » [1]. Quando si cercano le cause dei fenomeni seguendo questa norma, si trova che un fenomeno dipende dalla esistenza di un altro, il quale dal canto suo dipende da quella di un altro, e così di seguito più o meno, finchè si giunge ad un fenomeno a cui non si sa attribuire una causa riconosciuta dai sensi. A questo punto l'uomo non si vuol arrestare. E per quale virtù si spingerà più innanzi? L'osservazione, il giudizio, il ragionamento che lo hanno assistito fin qui si applicano agli oggetti sensibili ed alle idee acquistate intorno ad essi, e ponendo in luce fenomeni nuovi, o nuove condizioni di fenomeni noti, o rapporti non avvertiti delle idee, hanno potuto condurlo alla cognizione delle cause sensibili, ma non gli basteranno mai a scoprire le cause non sensibili dei fenomeni. A ciò è d'uopo varcare di un salto lo spazio che divide il sensibile dal non sensibile.... ed ecco la facoltà d'immaginare che lancia le sue idee dal noto all'ignoto. Sì, la facoltà d'immaginare la quale vorrebbero taluni che si avesse ad estinguere in chiunque si mette nello studio della natura. In ogni atto di studio tutte le facoltà della mente sono alleate e si prestano mutuo soccorso: « abbi per cosa certa, ben dice Leopardi, che a far progressi notabili nella filosofia non bastano sottilità d'ingegno e facoltà grande di ragionare, ma si ricerca eziandio molta forza immaginativa, e che il Descartes, Galileo, il Leibniz, il Newton, il Vico, in quanto all'innata disposizione

(1) Saggiatore, n. 14.

dei loro ingegni sarebbero potuti essere sommi poeti, e per lo contrario Omero, Dante, Shakespeare sommi filosofi. » È bello che l'analisi aspiri a distinguere l'ufficio delle varie facoltà, ma a chi e quando può saper buono di romperne il maraviglioso conserto e trarne fuori la fantasia e spegnerla? a chi e quando può rincrescere questa favilla che Dio ci infuse della sua potenza creatrice?

Raggiunto un fenomeno a cui non sappiamo assegnare una causa riconosciuta dai sensi, o questo fenomeno ci si presenta con tutta la semplicità di moto rettilineo, e allora noi immaginiamo che la sua causa sia, non già un altro movimento anteriore, ma una potenza; oppure il fenomeno non è semplice, e allora noi supponiamo che abbia per causa un certo movimento. Nel primo caso riguardiamo quel fenomeno come l'effetto di una proprietà fondata nell'essenza delle cose, e alla causa potenziale di esso diamo il nome di *forza*. Nell'altro caso, assistiti dalla analogia causale, cioè dalla presunzione che ad effetti simili corrispondano cause simili, immaginiamo come causa del fenomeno un certo moto che sia compatibile coll'andamento ordinario della natura e sia conforme alle cause sensibili dei fenomeni che hanno somiglianza con quello di cui si tratta. I due casi sono molto diversi. Nel primo la semplicità stessa del fenomeno designa una causa semplice ben determinata, escludendo ogni altra che sia diversa. Questa causa è per così dire la personificazione della pura virtù meccanica necessaria a generare il fenomeno, e però è veramente reale nella sua essenza come è reale il fenomeno stesso, e come è vero quel principio dell'umana ragione detto da Leibniz principio di ragione sufficiente, da altri principio di causalità, il quale fu così formulato: *nihil est sine ratione sufficiente cur potius sit quam non sit*. È ipotetica soltanto la nota di potenziale che si applica a questa causa appunto per limitarsi a ciò che è necessario e non dare un passo nel campo dei contingenti. Nel secondo caso invece la causa immaginata è ipotetica nella sua costituzione stessa e potrebbe anche essere diversa; questa si chiama propriamente una *ipotesi*.

242. *Tre generi di spiegazione dei fenomeni.* Nel processo esposto si comincia dunque dal trovare la connessione successiva dei fenomeni l'uno coll'altro, onde si ha una serie non interrotta di fenomeni, e si arriva poi ad immaginare o una forza od una ipotesi che contiene la ragione del fenomeno più alto della serie. Dimostrare come i fenomeni vengano prodotti,

o 1.º per altri fenomeni, o 2.º per una forza, o 3.º per una ipotesi, si dice *spiegarli*. Esaminiamo partitamente i tre generi di spiegazione.

243. *Spiegazione per nesso causale dei fenomeni.* Il primo dei tre generi di spiegazione scopre il nesso causale dei fatti e conduce fino al punto in cui solamente è dato di applicare o il secondo o il terzo genere. La scoperta del nesso causale dei fatti, oltre ad essere per sè una maniera di spiegazione, è dunque eziandio l'operazione necessaria da premettere alle altre due maniere, e per tale riguardo bisogna condurla innanzi fin dove può arrivare. Il pregio massimo del metodo sperimentale sta appunto nello spingere la ricerca del nesso dei fatti sino a quel termine ove i sensi non bastano più oltre. Tutti gli errori dello spirito umano intorno alla natura ebbero origine dalla trascuranza di questa parte di studio. Si guardò ai fatti isolati meglio speciosi e ai pochi vincoli più sensibili, e tosto si cedette alla impaziente ambizione di imporre alla natura le proprie idee, e si lanciò tante larve ad arrabattarsi ed armeggiare nel campo che doveva essere passeggiato maestosamente dalla filosofia; e ciascuno vi lanciò le sue perchè le speculazioni degli individui, essendo in balìa di concepimenti arbitrarii, non avevano un legame comune, ed una età non poteva profittare dei lavori delle età perdute. Fu la paziente indagine delle relazioni costanti dei fenomeni che tracciò la via progressiva della scienza, segnando una serie di punti fissi nelle successive relazioni scoperte, dietro la quale si regolarono poi gli studii d'ogni paese e d'ogni generazione; donde quella colleganza e quella continuità di forze che fanno di tutta quanta l'umanità una famiglia. Nel che si vede che la filosofia naturale ha grandissimo valore civile, non solo per i frutti scientifici e le applicazioni industriali che porta, ma anche per la virtù federativa degli studii tra le nazioni. L'ordine fisico è diventato, la mercè del metodo scientifico, il fondamento invariabile di una alleanza tra gli uomini, sempre viva attraverso i secoli e tanto estesa per quanto lungi può battere ala di civiltà.

A scoprire il nesso causale dei fenomeni, anzi a mettersi in sulla via di scoprirlo, è necessario che i fenomeni siano ravvisati nel vero essere loro. Talvolta le apparenze tornano molto disformi dalla realtà, principalmente nei fenomeni più grandiosi che ci è dato vedere negli spazii celesti o nell'atmosfera. Allora, con la scorta delle ragioni prospettiche e delle condizioni che potessero appartenere al luogo in cui siamo a guardare,

bisogna immaginare e distinguere nettamente i diversi casi i quali sarebbero capaci di offrirci del paro alla vista le forme più generali di quei fenomeni; quindi bisogna raccogliere dai minuti particolari quanti più indizii si può che concorrano a dimostrare meglio probabile nella realtà o l'uno o l'altro dei casi, ed ingegnarsi di trovare tali modi di osservazione che debbano condurre a risultamenti diversi quando sia vero l'uno anzichè l'altro dei casi immaginati, e commettano così la decisione alla testimonianza stessa dei fatti.

Di sopra (§ 241) abbiamo considerata la connessione successiva dei fenomeni nella sua massima semplicità, ma vuolsi avvertire che i fatti non si legano quasi mai uno ad uno e nel modo istesso, che anzi avviene di loro quel che delle passioni le quali si avviluppano molte insieme con diversi nodi e mutazioni di aspetto. Quindi le leggi naturali sono spesso il risultato d'una complicazione di più agenti simultanei ed è difficile di ravvisarle distintamente e di spiegare i fenomeni. A ciò torna di grande ajuto un'arte di fare esperienze che consiste nell'isolare quanto si può le diverse coppie di causa e di effetto per discernere nel fatto complesso la parte dovuta a ciascheduna delle cause.

Qualche volta è manifesto che una certa classe di fenomeni dipende tutta da un fatto ben definito; come quando il fatto originario è di quelli che noi stessi possiamo produrre e che produciamo in effetto ogniqualvolta si vuole che abbiano luogo i fenomeni della classe. Allora nella spiegazione giova pigliare le mosse da codesto fatto e cercare le sue conseguenze razionalmente nei diversi casi e recarle a dare giusta ragione dei diversi fenomeni.

244. *Spiegazione per forze.* Raggiunto con la scorta del nesso causale il fenomeno supremo di una classe, il quale sia semplicissimo, cioè si risolva in un moto rettilineo di materia, e però si possa attribuirlo immediatamente ad una forza, vuolsi scoprire la legge di questo fenomeno e formularla con semplicità. Dietro la legge del fenomeno si deve determinare, mediante i principii della meccanica razionale (§ 8), la legge della forza, cioè quella legge con cui fa d'uopo che adoperi la forza perchè ne segua il fenomeno tale qual'è. Ciò si chiama *definire* o *caratterizzare la forza.* Talora l'ingegno sagace definisce la forza per congettura prima di conoscere la legge del fenomeno, e in seguito verifica che il fenomeno osserva appunto quella legge che è la conseguenza necessaria della de-

finizione immaginata, e allora tiene a buon diritto la definizione per vera.

La definizione della forza che genera una classe di fenomeni è il punto più alto a cui si pervenga nello studio di quella classe, ma si può salire ancora, passando ad una classe più generale che comprenda la considerata siccome parte, e lo studio della quale riveli una causa superiore alla già definita. Per questa guisa può avvenire che due o più forze riducansi in una.

I fenomeni che possiamo attribuire immediatamente a forze sono diversi, e non ci è dato nella condizione attuale della scienza di riferirli tutti ad un'unica fonte; quindi, per ciascheduna serie di fenomeni dipendenti l'uno dall'altro ammettiamo una forza apposita denominandola dall'ultimo fenomeno che ella spiega immediatamente.

Può darsi che il fenomeno supremo della classe non sia semplice in sè, ma sia composto di elementi semplici, vale a dire non sia un moto rettilineo, ma sia un moto d'altra forma che si risolva in due o più moti rettilinei; allora può essere che sia necessario di assegnare una causa propria a ciascun elemento; il sistema di queste cause o forze è la causa complessa del fenomeno quale apparisce a noi.

Quantunque l'esistenza di forze naturali sia indubitabile, perchè i fenomeni devono pur avere una causa somma fondata nell'essenza della natura, pure non vuolsi tenere per fermo che quelle forze che ora comunemente si ammettono siano primitive, perchè non è già dimostrato, e non è dimostrabile per noi, che il supremo fenomeno sensibile di una classe, sia l'atto primigenio di una potenza, piuttosto che l'effetto di un certo movimento già indotto dalla potenza. Non bisogna dimenticare che la nota di potenziale che nel concetto comune si applica ad una forza assunta a spiegare una classe di fenomeni è ipotetica (§ 241), e che con essa non si asserisce che la forza sia primitiva; ma d'altra parte bisogna ritenere che codesta forza, considerata come potenza meccanica puramente necessaria, è reale, sia poi essa primitiva o di seconda mano.

245. *Spiegazione per ipotesi. Difesa di questo genere di spiegazione.* Se il fenomeno capitale di una classe non è un moto puro che si possa attribuire immediatamente a forze, è cosa utilissima nello studio della classe il fare una ipotesi circa la maniera con cui è prodotto quel fenomeno e ne derivano gli altri tutti.

Qui sorgono i reclami violenti di certi empirici che vogliono sbandite le ipotesi dalla naturale filosofia come quelle che tirano lo spirito fuori della via sperimentale con gli allettamenti di un libero incesso e con la lusinga di pronte e grandiose conquiste, e lo indugiano poi con menzoguere immagini dal ripigliare il lento ma sicuro cammino della realtà. Pur troppo si può abusare di tutto, e della fantasia più che di altro, ma l'abuso non condanna che sè medesimo. Ci sarà facile vedere dove comincino in questo soggetto le intemperanze e come si abbia a preservarsene, quando sapremo fare giusta ragione dell'ufficio delle ipotesi e dei vantaggi che recano alla scienza.

Innanzi tutto gli oppositori si persuadano che le ipotesi non hanno aspettato per introdursi nel tempio questo istante in che si avvisano essi di correre a sbarrarne la porta, che è quando si prende a spiegare i fenomeni supremi delle classi. Le ipotesi vi si trovano ammesse fin dai primordii dello studio, e sono già benemerite di ajuto a quei medesimi che le disconoscono. E invero, donde hanno origine e direzione gli esperimenti, che ciechi tentativi non siano, se non da razionali congetture che facciamo circa la costituzione di un fenomeno e circa le sue attinenze? E raggiunto qualche indizio del modo di essere di un fenomeno un po' complicato o de' suoi legami con altri fenomeni, come procediamo noi d'ordinario nella cognizione se non passando in rassegna le leggi e i rapporti supponibili del fenomeno, per poi rintracciare con le osservazioni e con gli esperimenti quali di esse leggi e di essi rapporti sono i reali? Senza le congetture difficilmente potremmo iniziare una classificazione dei fatti e passare dalle percezioni sgranate a costruire la scienza [1]. Ora, tra queste

(1) Questa verità è riconosciuta generalmente.

Platone dice nel Timeo che noi dobbiamo tentare il mondo sensibile con la opinione.

Augusto Comte (*Cours de philosophie positive*, T. II, Leçon 28) così: Non ci sono che due mezzi generali atti a svelare in un modo diretto e veramente razionale la legge di un fenomeno: o l'analisi immediata del suo andamento o la relazione esatta ed evidente che esso abbia con qualche legge più generale già stabilita. Ora, chi ha ben comprese le difficoltà di uno studio profondo della natura stimerebbe ardua da battere e l'una e l'altra via anche per i fenomeni più semplici, se non vi si camminasse precorrendo alle risultanze, cioè facendo una supposizione dapprima puramente congetturale circa alcune di quelle nozioni che costituiscono l'oggetto finale della indagine. Di qui l'introduzione strettamente necessaria della ipotesi nella naturale filosofia. E chiaro che senza questo felice spediente, la cui idea generale venne in prima suggerita dai metodi di approssimazione dei geometri, la effettiva scoperta delle leggi naturali sarebbe impossibile per

minute congetture che, sebbene inavvertite dagli empirici grossolani, giovano gli studii sperimentali ad ogni passo, e quelle con cui si tenta la spiegazione dei fenomeni supremi, alle quali si dà più specialmente il nome di ipotesi, vi è la differenza che le seconde sono più esplicite e prendono dal soggetto maggiori dimensioni che le prime, non già che abbiano altra origine, o ragione intrinseca diversa, od indole più arrischiata. Che se circa le prime si verifica presto che sono o non sono conformi al vero e circa le seconde il giudizio rimane sospeso a lungo, ciò avviene perchè le une occorrono in circostanze estrinseche molto diverse che le altre relativamente ai nostri mezzi di proseguire le indagini. Per quelle si è come a dire in mezzo al campo dei fenomeni sensibili, per queste si è sul confine tra il sensibile e il non sensibile, e se in generale più si va innanzi più è difficile il progredire, a questo confine poi la difficoltà è massima.

Alcuni filosofi pretendono che le leggi dei fenomeni siano le colonne d'Ercole nella naturale filosofia, e condannano come prosuntuosa e disperata di ogni successo, e anzi funesta, la tendenza a ricercare le cause dei fenomeni e il modo onde questi vengono prodotti (1). Io amo di studiare le norme del progredire e non mi arrogo di fissare i termini, ma penso che, volendo anche limitare di quella guisa il soggetto degli studii naturali, sia pur tuttavia improvvido il correggere le ipotesi a cotal freno. Le idee si fecondano a vicenda e lo spirito acquista agilità e vigore nei movimenti liberi, ed ama ne' suoi esercizii di sorvolare alla meta per accertarla meglio; ond'è che si fanno ipotesi circa le cause anche per ajutarsi di queste ipotesi e scoprire le leggi, e talvolta una congettura circa la causa dei fenomeni non è che la veste di una ipotesi circa le leggi di essi.

246. *Ufficio delle ipotesi e servigi che esse prestano alla scienza.* Le ipotesi ajutano a rinvenire il legame dei fatti, aprono allo spirito nuove prospettive, suggeriscono esperimenti nuovi e così preparano la scoperta delle cause vere. « L'arte di scoprire le cagioni dei fenomeni, dice Leibniz, è paragona-

poco che il caso fosse complicato; ad ogni modo poi il progresso sarebbe di molto ritardato.

Le ragioni delle ipotesi nella naturale filosofia furono profondamente discusse dall'ingegnere Cantoni nella Memoria: *Del metodo nelle scienze fisiche.* Rivista Europea, fasc. II, IV e V del 1846.

(1) Comte, *Cours de philos. posit.* T. II, pag. 433 e seg.

bile all'arte di decifrare, dove una congettura ingegnosa accorcia molto il cammino » [1]. È più difficile scoprire che verificare, e il grande servigio delle ipotesi nello studio della natura è appunto di condurre alle scoperte per la via delle verificazioni. Perchè rifiutare un tale servigio quando sulla via diretta delle scoperte si è giunti ad un ostacolo insuperabile?

Una ipotesi che spieghi tutta una classe di fenomeni facilmente, senza stiracchiature, senza il bisogno di ipotesi ausiliari, e non sia in opposizione con nessuna verità stabilita, che anzi si raccomandi per la conformità delle sue proposizioni con altre di già bene dimostrate, la si può assumere come un mezzo provvisorio di coordinare i fenomeni e di facilitarne l'esposizione fino a che si venga a conoscere la loro causa reale. Una ipotesi è per sè stessa ingenua; non usurpa il seggio della verità, sebbene aspiri ad essere verificata; non proscrive gli esperimenti ma li favorisce, li invita a tentare nuove direzioni, si accompagna con essi, e talvolta per loro consiglio corregge sè medesima o cede il campo ad altra ipotesi più conforme ai fatti. Due o più ipotesi possono anche correre insieme il medesimo arringo, e gareggiare a chi fa meglio. Esse allora si interpellano a vicenda, e discutono l'indole dei fenomeni più ritrosi, ed espongono ciascuna le sue ragioni, e le confrontano, e si ingegnano di immaginare alcuni arguti esperimenti così condizionati che il loro successo non sia il medesimo se valgono le ragioni dell'una piuttosto che dell'altra, e in questo modo riducono la gara al cimento dei fatti. Quindi si vede che se nell'esordire dello studio le congetture circa le leggi e circa le relazioni dei fenomeni promovono l'opera degli esperimenti, in seguito poi le ipotesi circa le cagioni la estendono oltre ogni dire, e la recano a squisitezza. Le ipotesi rendono piena testimonianza che quanto più si procede nelle cognizioni, gli esperimenti e diventano più necessari e si fanno più delicati. « Sul principio, avverte Cartesio, è bene valersi di que' soli esperimenti che sono ovvii, anzichè cercarne di peregrini e sottili, e la ragione si è che questi più sottili inducono spesso in errore quando non si conoscono ancora le cagioni dei più comuni, e che le circostanze da cui dipendono sono quasi sempre così particolari e così minute che è molto malagevole di avvisarle » [2], ma, diremo completando pel caso nostro la sen-

(1) *Nouveaux essais sur l'entendement humain.* L. IV, chap. 12.
(2) *OEuvres de Descartes pub. par V. Cousin.* Paris 1821, T. I, pag. 194.

tenza di Cartesio, quando lo studio è salito a discutere le cagioni generali l'acume dello sperimentare ha libero il campo, e per quanto sia fino e curioso non torna mai inopportuno.

247. *Cautele nell'uso delle ipotesi.* A non corrompere l'ingenuo costume delle ipotesi vuol'essere somma cautela. Nuoce troppo spesso la fretta di salire dalle verità sperimentali alle cagioni recondite, ond'è che si ferma la prima ipotesi che si presenta, o si sceglie tra molte la più speciosa, e la si copre quasi a prova col manto austero della verità, e le si presta facilmente un linguaggio che cela l'origine sua avveniticcia, e respinge l'esame, e per poco non comanda la fede. Talvolta il gioco riesce così bene che pur chi lo fece ne resta maravigliato e crede proprio d'aver colto nel segno. Bisogna non lasciarsi vincere all'ambizione di sistema, non lasciarsi adescare dal bello o dal nuovo a far uso di un linguaggio assertivo, non smarrire in ambagi quella semplicità maestosa che campeggia in tutta la natura; sibbene rispettare l'autorità dei fatti, tenere distinti i fatti e le conseguenze legittime necessarie di essi dalle ipotesi, essere pronti a ripudiare queste se mal rispondono a quelli, aver compagna dove si possa la ragione del calcolo, ritrarre spesso le idee ai principii loro evidenti, serbare mai sempre l'indipendenza della meditazione, trattenersi abbastanza nel dubbio apprezzando anche le verità negative. Guardiamoci dal pazzo orgoglio dell'epicureo Vellejo, il quale nulla più temeva che di parere dubitoso in qualche cosa; e ce ne preservi l'osservazione antica che gl'intelletti mediocri sono per lo più assoluti e superlativi nei loro giudizii e intolleranti nel campo delle opinioni. Quelli che vedono poco, dice Aristotile, sono molto decisivi.

Sia suggello una sentenza di Laplace: « Il filosofo veramente utile ai progressi della scienza è quello che accoppiando ad una immaginazione profonda un grande rigore nei ragionamenti e nelle osservazioni è tormentato dal desiderio di elevarsi alle cause dei fenomeni e insieme dal timore di ingannarsi circa quelle che loro assegna » (1).

248. *Riduzione delle cause al minimo numero.* Il progresso delle cognizioni procacciò fede sempreppiù all'opinione che la natura in tanta pompa di fenomeni sia semplice ne' suoi atti e nelle cause ed economica nei mezzi; perchè si ebbe ripetutamente a vedere che da principio quando i confronti sono

(1) *Système du monde.* Lib. IV, chap. IV.

istituiti fra pochi fatti complessi, le leggi si presentano sotto forma complicata e le potenze naturali sembra che siano molte; mano mano poi che l'osservazione si fa più ricca e l'analisi più potente e il dominio della associabilità più esteso, le leggi, mentre per successive induzioni diventano più generali, vanno pure semplificandosi ognora più e le potenze naturali si restringono a minor numero. Quel che diceva Buffon, ammirando l'uniformità di struttura del corpo dei diversi animali, si può ormai dire di ogni grande aspetto della natura. « Pare (son le parole di Buffon) che l'Essere Supremo siasi compiaciuto di assumere una sola idea e di svariarla in tutti i modi, affinchè l'uomo potesse ammirare insieme e la magnificenza della esecuzione e la semplicità del disegno » (1). Quindi gli studii fisici presero una tendenza a riferire tutti i fenomeni a poche forze già avverate, dai caratteri delle quali derivino nettamente le leggi di questi. Il sommo Newton pose a prima regola del filosofare: *Causas rerum naturalium non plus admitti debere quam quæ et veræ sint et earum phænomenis explicandis sufficiant* (2).

249. *Metodo induttivo.* Il metodo qui discorso di cercare le cause dei fenomeni, ove si guardi al suo procedimento in grande, consiste in una serie di generalizzazioni che dai minimi fatti particolari si eleva grado grado sino ai principii sommi che reggono tutti i fenomeni e tutti i principii anteriori. Questo metodo si dice comunemente *metodo induttivo* od anche solo *induzione*, il qual nome ha qui un significato ben diverso che dove dinota un semplice argomento logico (§ 20).

250. *Uso della matematica nel metodo induttivo.* Un precetto che non bisogna mai smarrire quando si tratta delle spiegazioni è di tener conto di tutti gli elementi quantitativi di numero, di spazio, di tempo, di forza, che occorrono nei fenomeni, per vedere che la causa, com'è suo debito, renda piena ragione di tutti questi elementi nell'esatta loro misura. E qui si pare la necessità e la grande virtù della matematica nella naturale filosofia, perchè la causa di un fenomeno, ossia di un certo moto, non si può definire e non si può mettere a confronto cogli elementi quantitativi del fenomeno, se non per ufficio di meccanica razionale, cioè per magistero di matematica.

(1) Buffon. *Ouvrages*. Edit. in 4.° de l'Imp. Roy., T. IV, pag 379.
(2) *Principia math.* Lib. III, Reg. I.

In alcuni fenomeni, per esempio nella caduta dei gravi, il moto è palese direttamente, e per questi l'applicazione della meccanica razionale a spiegarli riesce immediata e sicura; ma in altri fenomeni molti, come per esempio nei fenomeni detti molecolari, il moto non è sempre palese direttamente, e per questi l'applicazione della meccanica non può farsi che in via mediata e congetturale. Mediata, perchè solamente per mezzo di un esame diligentissimo delle condizioni, delle circostanze, delle conseguenze di un fenomeno e de' rapporti suoi co' fenomeni affini, possiamo scoprire od immaginare il moto che lo produce; congetturale, perchè ad immaginare questo moto quando non si possa scoprirlo, e in ogni caso ad immaginare la causa che valga a generare il moto, dobbiamo pur fare qualche ipotesi circa gli elementi impercettibili della materia. E qui si avverta bene che questo procedere dell'indagine per guisa mediata e questo ajuto d'ipotesi non sono già voluti dall'applicazione della matematica, sicchè dove si potesse far senza di lei nello spiegare i fenomeni si avesse anche a correre più spedito ed a risparmiare le ipotesi, no, sono voluti dalla recondita natura dei fenomeni stessi. Che anzi la matematica, giacchè tocca necessariamente a lei di valutare i fatti e di assumere le ipotesi, ha per virtù tutta sua da una parte il merito di cogliere alla sicura nella considerazione di una grande famiglia di fatti le norme che sono comuni a tutti, per le quali soltanto si può conoscere quel genere di moto che tutti li governa e che unico deve guidare alla definizione della forza madre, e dall'altra parte il merito di suggerire le ipotesi della massima semplicità, formulando nettamente le esigenze a cui esse devono soddisfare. Per i quali due meriti la matematica veglia a preservare l'indagine dalle aberrazioni, e stringe le ipotesi nei confini della necessità, e così rende minimo il pericolo di quelle condizioni che sono imposte dalla recondita natura dell'oggetto.

È ben vero che si può abusare della matematica, forzandola a vestire delle sue insegne le deduzioni di osservazioni sbagliate o di ipotesi temerarie, ma l'errore non è della matematica, è la conseguenza necessaria o di una colpa della fisica sperimentale o di una intemperanza della ragione. La matematica per sè è una formola rigorosa della logica delle quantità, è una formola sicura da ogni fallacia di linguaggio, perchè in essa per l'indole di quantità matematiche e di operazioni su quantità matematiche, un segno non può rappresentare che una

idea bene definita od un atto bene deciso; è una formola sicura da ogni fallacia di argomento, perchè la si governa di continuo con la ragione ineluttabile delle uguaglianze. La serie poi delle trasformazioni analitiche non solo mostra a nudo il processo delle idee in tutte le sue mosse, e lo favorisce e lo tutela colla coerenza formale dell'espressione, ma precorre a lui con certissime norme e gli prepara, per così dire, la giusta matrice, ond'è che per lunghi tratti si può maneggiare la forma sola, con la sicurezza che le idee vi fluiscono per entro purissime, intere, diritte alla meta. Pregio maraviglioso, al quale si appicca pur troppo un vizio che hanno certuni di scambiare lo spirito direttore delle ricerche col meccanismo formale delle operazioni, calcolatori meglio che matematici. La matematica conscia di sè è d'indole così generosa che quando è applicata ad opinioni erronee si vendica soventi col beneflzio; perchè, ricercando ella col suo infallibile processo fino le più lontane conseguenze dei fatti e delle ipotesi, e passandole tutte in rassegna, suggerisce di quando in quando verificazioni sperimentali decisive, e talvolta reca in luce siffatte enormità che convincono di falso il principio da cui si prese le mosse, e tal altra, benefizio sommo! insegna come lo si debba rettificare. Quindi consegue che nelle speculazioni coraggiose la matematica può servire di scienza del paragone e preservare da temerità.

Ricordati i principii generali della ricerca delle cause fisiche, prendiamo a vedere l'applicazione di essi ai gruppi più cospicui di fenomeni, giusta l'intenzione del nostro libro che è di illustrare opportunamente le ragioni del metodo con quella miglior luce che mandano le varie parti della scienza (§ 12).

L'esposizione che abbiamo fatta di alcuni fenomeni e delle loro leggi, diede già a conoscere molti begli esempi di spiegazione per nesso causale. Ora ci giovi trattenerci un poco intorno ad un altro esempio, che è il più splendido fra quanti mai si presentano nella filosofia fisica, voglio dire l'esempio dei fenomeni celesti. Esso ci offrirà i diversi stadii per cui si ascende al sommo della scienza, cominciando dal primo che dalla forma apparente dei fenomeni conduce a ravvisare la loro forma vera, e procedendo sino all'ultimo dove le forze si semplificano, e classi in prima diverse di fatti appariscono omogenee, e le dottrine convergono all'unità.

251. *Aspetto del cielo nel nostro paese. Denominazioni.* Il cielo, da qualunque sito si guardi, ha l'aspetto di un ampio emisfero cavo, un po' depresso dall'alto, e col centro nel punto da cui si guarda.

Quel grande circolo che ne' luoghi liberi ed aperti si allarga intorno all'osservatore fin dove par che il cielo si raggiunga alla terra, dicesi ***orizzonte*** che vale quanto limite (ὁρίζω, terminare), perchè la sua periferia è limite allo sguardo e coincide col limite apparente del cielo.

Noi vediamo il sole sorgere maestoso da una parte dell'orizzonte (oriente, est), percorrere nel giorno un arco in cielo, e tornare sotto l'orizzonte dall'altra parte (occidente, ovest). La luce che dopo il tramonto esso manda ancora nell'aria si more a poco a poco, e intanto comincia ad accendersi nella vôlta celeste una moltitudine di stelle che lentamente ma pur di continuo mutano luogo. Per una serie di notti, ricorrente ad intervalli regolari, si mostra in cielo anche la luna, la cui faccia argentea va mutandosi di notte in notte; la luna si muove pur essa come il sole da oriente ad occidente. E così le stelle: qua ad oriente s'innalzano, là a ponente si abbassano, e mentre di qua alcune spuntano fuori dell'orizzonte, altre di là vanno sotto. Se stai rivolto in guisa da avere l'oriente a sinistra, l'occidente a destra, e guardi l'estremo orizzonte in quella plaga che si dice di mezzodì (sud), vedi le stelle che ivi appariscono sorgere pochissimo sull'orizzonte e celarsi presto, non descrivendo che un picciol arco di circolo, e quelle che spuntano mano mano più in qua verso oriente sorgere di più, e descrivere un arco di circolo a raggio maggiore e che emerge dall'orizzonte per un maggior numero di gradi, e così via via fino a qualche stella che descrive un mezzo circolo sopra l'orizzonte da est ad ovest in 12 ore, il quale mezzo circolo ha raggio più grande che non gli archi delle altre stelle. Le stelle che trovansi al di qua di tale mezzo circolo, e quelle che, volgendoti dalla parte contraria, vedi nella plaga di cielo che si dice settentrione (nord) descrivono archi di circolo a raggio sempre più breve, ma che tengono sopra dell'orizzonte un numero di gradi più e più grande che il semicircolo, e così si viene a stelle che non tramontano mai e si muovono in cerchi tanto più piccoli quanto più son vicine a un certo punto del cielo che pare immobile.

Il moto delle stelle è uniforme; le curve ch'esse descrivono sono in piani obbliqui all'orizzonte e paralleli fra loro, e la velocità angolare è la medesima per tutte, cioè l'arco che una stella percorre in un dato tempo è uguale nel numero di gradi all'arco che percorre ogni altra nel medesimo tempo; ne viene che le stelle serbano inalterate le rispettive loro posizioni e distanze. Il complesso dello spettacolo è come se le stelle si trovino infisse nella concavità di una immensa sfera (*sfera celeste*) che, ruotando su di un suo diametro da oriente ad occidente, le meni tutte in giro, e che l'orizzonte dove noi siamo a guardare tagli questo diametro obbliquamente per mezzo così che una metà del diametro si trovi al di sopra, inclinata dalla parte del nord, e faccia capo a quel punto del cielo che è immobile; l'altra metà al di sotto. La sfera celeste è divisa dall'orizzonte in due emisferi che son detti l'uno *superiore*, l'altro *inferiore*.

In due notti successive i fenomeni si ripetono sensibilmente allo stesso modo, non altrimenti che se la sfera celeste, continuato nel giorno intermedio il suo giro, avesse condotto di nuovo ciascuna stella ad essere sul principio della seconda notte in quel sito che era sul principio della prima. Questa rotazione apparente del cielo che si compie in 24 ore, si dice *moto diurno*. Il diametro intorno a cui si fa la rotazione si chiama *asse della sfera celeste o del mondo:* i suoi due capi si chiamano *poli del mondo*, quello sopra il nostro orizzonte *polo nord*, l'altro che è sotto, invisibile a noi, *polo sud*.

Certi astri non tengono solo codesto modo, ma hanno anche un movimento loro proprio per cui mutano sensibilmente di luogo rispetto agli altri; essi chiamansi *pianeti* che significa *erranti* (πλανάω, andar errando) per opposizione agli altri che non cangiano sensibilmente le rispettive loro posizioni e distanze e si chiamano *stelle fisse*. Di quando in quando compare nel cielo qualche astro di sembianza strana, con chioma o coda lucida, talvolta lunghissima. Piccolo in sulle prime e smunto acquista presto allo sguardo grandezza e splendore; oltre al moto diurno ha un moto proprio molto rapido, e dopo alcuni giorni si dilegua. Questi corpi diconsi dalla chioma *comete*. Il nome *astro* serba significato generico, e si applica del pari al sole, alla luna, alle stelle fisse, ai pianeti alle comete.

Anche il sole e la luna mutano di posizione l'uno rispetto all'altra, ed ambedue rispetto alle stelle fisse. Talvolta la luna sorge sull'orizzonte in quella che il sole tramonta dalla parte opposta; e talvolta la luna si trova pur essa alta nel cielo,

quando il sole è già sorto o non è ancora tramontato, cosicchè sono visibili e l'uno e l'altra nello stesso tempo. Di notte incontra spesso che la luna, nel mutare di luogo rispetto alle stelle, passa dinanzi ad alcune e le occulta al nostro sguardo.

Quando splende il sole non vediamo stelle in cielo, ma non è già che di giorno vi manchino; non le vediamo perchè la luce solare vince d'assai la luce delle stelle, e questa si perde, a dir così, nell'oceano di fulgore che il sole diffonde. Se il sole si ecclissa, le stelle diventano visibili; con buoni cannocchiali si vedono in pieno giorno alcune delle stelle più lucenti.

A meglio designare i moti delle stelle, si immagina alcuni cerchi e alcuni punti nella vôlta celeste ai quali riferirli. Il cerchio massimo che è perpendicolare all'asse del mondo, e divide la sfera celeste in due parti eguali che si dicono l'*emisfero boreale* e l'*emisfero australe*, riceve il nome di *equatore;* è il cerchio in cui si muovono le stelle dal giro più largo, che stanno, come si disse, 12 ore sopra l'orizzonte. Gli altri cerchi minori che nel moto diurno le stelle descrivono parallelamente all'equatore, i quali e da una parte e dall'altra dell'equatore sono tanto più piccoli quanto più sono vicini al polo, si chiamano *paralleli.*

Si dice *zenit* di un luogo il punto del cielo a cui ascende la verticale del luogo, *nadir* il punto diametralmente opposto sotto l'orizzonte. I due nomi sono d'origine araba e significano il primo *punto elevatissimo,* il secondo *punto simile,* come a dire simile allo zenit nell'emisfero inferiore.

Quel circolo massimo della sfera celeste che si immagina passante per il zenit di un luogo e per i poli del mondo, si dice il *meridiano* del luogo perchè il sole, quando è mezzodì, si trova in esso; è perpendicolare all'orizzonte, e divide la sfera celeste in due metà, l'*emisfero orientale* e l'*emisfero occidentale;* divide in parti eguali anche l'arco percorso da ciascuna stella sopra l'orizzonte. È chiaro che ogni astro nel suo moto diurno deve attraversare il piano del meridiano due volte: l'una quando arriva alla maggiore altezza sua sull'orizzonte (*passaggio superiore* o *culminazione dell'astro*), l'altra 12 ore dopo, quando giunge alla minore altezza sull'orizzonte, se è di quegli astri dell'emisfero boreale che non tramontano mai, o quando si trova alla massima profondità sotto l'orizzonte, se è di quegli astri che tramontano (*passaggio inferiore*).

L'uniformità del moto della sfera celeste che compie un giro in 24 ore, fa che si possa facilmente desumere l'ora della giornata dall'altezza che ha sull'orizzonte questo o quell'astro.

252. *Rotondità della terra. Aspetto del cielo nei diversi paesi.* Il moto diurno degli astri fa chiara fede che la terra non è congiunta con la volta celeste intorno intorno, ma è isolata nello spazio. La terra, anche rasi i monti, non ha superficie piana. La faccia del mare tranquillo non è piana; chi naviga verso il lido comincia da lungi a discernere le cime dei monti e delle torri, e dopo vede a poco a poco le parti più basse; chi dal lido osserva la nave che si avvicina, vede prima la punta delle antenne, e poi mano mano anche le altre parti, ed ultimo il corpo della nave. Questi aspetti dimostrano che la superficie terrestre che giace fra l'osservatore e le cose che si osservano è convessa; e poichè si ripetono sulla terra ugualmente per ogni direzione, attestano che la superficie della terra è convessa ugualmente da tutti i lati come di sfera.

Un'altra prova che la terra è rotonda si ha nei viaggi fatti più volte intorno ad essa. Primo il portoghese Magellano, salpato da Siviglia nel 1519 attraversò l'oceano, circuì l'America, entrò nel mare del sud, e proseguendo sempre senza rivolger la proda, rivide l'Europa. Questi giri non si potrebbe farli se la terra non fosse rotonda e libera nello spazio.

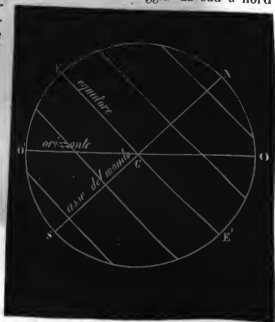
Una bella conferma della rotondità della terra la vediamo negli eclissi di luna (§ 141): quando il disco lunare entra nell'ombra della terra, e quando ne esce, il confine dell'ombra vi si disegna ad arco di circolo; ciò mostra che la mole terracquea ha forma prossimamente sferica.

Ammesso che la terra abbia questa forma, è chiaro che le direzioni dei gravi cadenti o le verticali dei diversi luoghi convergono al centro di essa (§ 37), e che quindi tali direzioni in due luoghi diametralmente opposti, sono tra loro contrarie. Gli abitatori di questi due luoghi tengono rivolte le piante dei piedi gli uni contro gli altri, perciò si dice che gli uni sono gli *antipodi* degli altri. La gravità non permette che parte alcuna della terra tenda *effettivamente* a qualche punto che sia fuori di questa, ma tien collegate insieme tutte le parti; quindi è che la terra non ha bisogno di appoggio o d'altro ritegno per nessun lato, e può andarne libera nello spazio e pur in sè raccolta. Posta la rotondità della terra, si vede che l'orizzonte di un luogo è il piano perpendicolare alla verticale, cioè, il piano tangente la superficie terrestre in quel luogo; l'orizzonte per chi si trova in una vasta pianura o in alto mare dee parere un circolo sulla cui periferia insista l'emisfero celeste. È chiaro che ciascun luogo della terra, come ha una verticale sua propria, ha pure un orizzonte suo proprio.

Le nostre idee di *alto* e di *basso* non sono relative allo spazio generale, sono relative puramente alla direzione della gravità ossia alla verticale del luogo dove ci troviamo. In un luogo diciamo alto un oggetto che sia dalla parte da cui procedono i gravi cadendo, basso un oggetto che sia dalla parte a cui i gravi cadenti si volgono: dilungatici di là, quelle denominazioni nel luogo a cui siamo passati non valgono più per i medesimi oggetti rimasti al luogo di prima. Sebbene il cielo e le stelle siano tutt'all'intorno della terra, diciamo sempre che sono in alto, perchè da qualunque punto della terra si guardino se ne vede solo quanto si trova sopra dell'orizzonte, e ciascuno di noi intende parlare di quel tanto che vede.

Il diverso aspetto del cielo ne' diversi luoghi, cioè sopra i diversi orizzonti è apertissima prova che la terra è rotonda. Se la terra fosse piana, l'orizzonte sarebbe uno, e l'aspetto del cielo sarebbe eguale in ogni luogo: noi, viaggiando, vedremmo sempre le medesime stelle e muoversi alla stessa guisa; ma succede invece che mutando luogo, si muta cielo e clima, e nuove stelle appariscono, mentre altre si celano, e i loro moti rispetto all'orizzonte sono diversi. Chi viaggia da sud a nord o al contrario, scopre nuovo cielo dinanzi a sè, mentre di dietro una parte di cielo gli si occulta, ed anche la verticale dei luoghi a cui passa batte a diversi punti del cielo che si succedono in quella stessa direzione del viaggio; e gli scoprimenti e le occultazioni delle stelle e il variare della verticale sono così proporzionati al cammino da rispondere ad una forma pressochè sferica della terra.

Fig. 138.

Nei nostri paesi l'angolo (NCO, fig. 138) che l'asse del mondo

fa con l'orizzonte è di circa 45°, e anche l'angolo (ECO') che misura l'inclinazione o l'obbliquità dell' equatore e dei circoli paralleli rispetto all'orizzonte è di circa 45°.

Quanto più si va innanzi sulla terra verso il nord, tanto più cresce l'angolo che l'asse del mondo fa coll'orizzonte, e diminuisce quello che fanno con l'orizzonte l'equatore e i circoli paralleli. A un certo punto l'asse è perpendicolare all'orizzonte (fig. 139), la verticale coincide con l'asse, il zenit col polo nord, l'orizzonte con l'equatore; là si vedono sempre le medesime stelle che non tramontano mai, ma girano a tondo in cerchi paralleli all'orizzonte.

Fig. 139.

Quando al contrario si va dai nostri paesi verso il sud, l'angolo che l'asse del mondo fa con l'orizzonte diminuisce mano

mano, finchè si riduce a zero; allora (fig. 140) l'asse è parallelo all'orizzonte, l'equatore e i paralleli sono perpendicolari all'orizzonte e tagliati da questo per metà, la verticale e il zenit si trovano nel piano dell'equatore; le stelle si vedono descrivere dei semicircoli perpendicolari all'orizzonte in 12 ore.

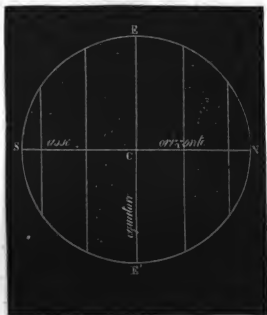



Fig. 140.

Se da queste regioni si va oltre ancora verso il sud, riesce sopra l'orizzonte l'altra metà dell'asse del mondo, quella che batte al polo sud; e mano mano che si va innanzi l'angolo che essa fa coll'orizzonte cresce sempreppiù, arriva a 45°, e via via fino a 90° dove il zenit coincide col polo sud.

Si dice che hanno la *sfera obbliqua* i paesi in cui l'equatore e i paralleli sono obbliqui all'orizzonte (fig. 138), e questi paesi sono la massima parte della superficie terrestre; si dice che hanno la *sfera parallela* i paesi in cui i detti circoli sono paralleli all'orizzonte (fig. 139); e che hanno la *sfera retta* i paesi in cui que'circoli sono ad angolo retto coll'orizzonte (fig. 140).

Tutte queste differenze dipendono da ciò che la posizione dell'asse del mondo e quella dell'equatore e dei circoli paralleli son fisse nello spazio, mentre la verticale e l'orizzonte sono diversamente disposti da luogo a luogo sulla superficie della terra. È facile vedere che le diverse posizioni testè accennate della verticale e dell'orizzonte dei luoghi rispetto all'asse del mondo e all'equatore sono propriamente come se la terra sia un globo collocato col suo centro nel centro della sfera celeste (fig. 141; l'orizzonte O1O' è quello della figura 138: l'oriz-

Fig. 141.

zonte O2O' è quello della 139; l'orizzonte O3O' quello della 140). L'aspetto della volta stellata e del suo moto diurno è bensì diverso da un luogo all'altro sulla terra, ma, per quanto siano distanti i luoghi, è sempre come se l'osservatore si trovi collocato sull'asse di rotazione del cielo, e solo rivolto da una o d'altra parte; ciò prova che le dimensioni della terra sono trascurabili in confronto della immensità della sfera celeste;

il globo nostro è nello spazio stellato non più che un punto sul quale noi siamo a guardare; la differenza di aspetto dipende solo dalla direzione per cui si guarda, non già dalla distanza dei luoghi sulla superficie terrestre.

253. *Modo di trovare il meridiano di un luogo e l'altezza del polo e dell'equatore sopra l'orizzonte.* Dove si vuol fare osservazioni astronomiche conviene innanzi tutto che sia individuato il meridiano del luogo, per sapere il piano in cui sta l'asse della sfera celeste, e poter conoscere in quale istante un astro *culmina,* cioè giunge al punto più alto del suo giro, chè è proprio l'istante in che ascendendo arriva nel meridiano. Il meridiano taglia in due parti eguali ciascun parallelo percorso di moto uniforme dalle stelle, onde passa per i centri di tutti. Questa proprietà serve a trovare la sua direzione: si adopera un cannocchiale che sia mobile attorno a un asse orizzontale e che nel mezzo del suo campo tenga teso verticalmente un filo sottilissimo; lo si volge al nord e si nota l'istante in che una di quelle stelle che non tramontano mai (stelle circumpolari) arriva al filo nel descrivere l'arco superiore al polo, e l'istante in che vi arriva nel descrivere l'arco inferiore al polo. Se l'intervallo tra i due istanti è la metà del tempo che impiega la stella a fare tutto il suo giro, il piano visuale che passa per il filo è il piano meridiano; se no, bisogna dire che esso trovasi da quella parte del piano visuale dalla quale è l'arco percorso in tempo maggiore. Col cangiare in modo conveniente la disposizione del cannocchiale e ripetere la prova più volte, si ottiene da ultimo quella disposizione che adempie appuntino la condizione suddetta, e allora il piano visuale del cannocchiale è il piano meridiano, giacchè comprende la verticale del luogo da cui si fa l'osservazione e taglia per mezzo il parallelo dell'astro, onde passa pel centro del parallelo e per il polo.

Il cannocchiale o telescopio che ha l'asse visuale nel piano meridiano ed è mobile solo in questo si dice *cannocchiale meridiano* o *istrumento di passaggio.*

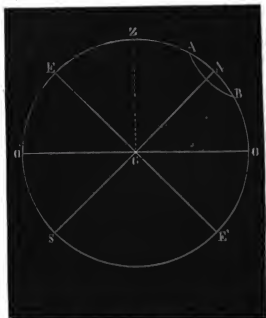



Fig. 142.

Dopo fissato il meridiano (NOO'N, figura 142), importa di conoscere l'angolo (NCO) che l'asse del mondo (NS) fa coll'orizzonte (OO'). Quest'angolo è misurato dall'arco di meridiano compreso tra il polo e l'orizzonte (arco NO); esso dice quanta è l'*altezza del polo* sopra l'orizzonte. Per trovarne il valore si osserva la minima e la massima altezza che ha sull'orizzonte una stella circumpolare, cioè si osservano le due altezze (BO,AO) che ha la stella quando passa per il meridiano; è evidente che l'altezza del polo è media tra queste due, è la loro semisomma (1).

L'altezza dell'equatore (EE') sull'orizzonte (OO') è misurata dall'arco di meridiano (EO') compreso fra l'equatore e l'orizzonte; è chiaro che essa è sempre uguale al complemento dell'altezza del polo, giacchè l'angolo fisso che l'asse del mondo fa coll'equatore (ang. NCE) è retto, e quindi la somma dei due angoli che fanno coll'orizzonte l'asse del mondo e l'equatore (NCO + ECO') dee pur valere un retto, ossia tali due angoli devono essere complementi l'uno dell'altro. Ne viene che di quanto si innalza o si abbassa il polo sull'orizzonte di tanto

(1) Sia C (fig. 142) il luogo dell'osservazione; il circolo NOO'N col centro in C rappresenti il meridiano, OO' la sezione del meridiano coll'orizzonte del luogo, N il polo nord, S il polo sud, NCS l'asse della sfera celeste. Vuolsi il valore dell'angolo NCO, cioè la misura dell'arco NO altezza del polo. La stella circumpolare osservata ha, quando è in A l'altezza massima AO sull'orizzonte, quando è in B la minima BO. È $NO = NB + BO$, ma siccome $NB = \frac{AB}{2}$, così $NO = \frac{AB}{2} + BO = \frac{AB + 2BO}{2} = \frac{AO + BO}{2}$.

al contrario si abbassa o s'innalza l'equatore sull'orizzonte stesso [1].

La distanza o l'altezza del zenit (Z) dall'equatore è misurata dall'arco di meridiano (ZE) compreso fra il zenit e l'equatore; essa è uguale all'altezza (NO) del polo, giacchè ciascuna di tali altezze è complemento della distanza (ZN) del zenit dal polo [2].

254. *Punti e linee cardinali sulla superficie della terra. Figura e dimensioni della terra.* Considerata la terra come un globo concentrico alla sfera celeste, si distinguono in quella e punti e circoli corrispondenti ai punti e ai circoli distinti in questa. I due punti (*n*,*s* fig. 143) dove la superficie terrestre è trapassata dall'asse del mondo si chiamano *poli della terra, nord* l'uno, *sud* l'altro. La porzione (*n s*) di asse del mondo, che è compresa fra i due poli della terra prende il nome di *asse terrestre;* il punto (C) di mezzo di quell'asse è il *centro* della terra. La sezione (*ee'*) fatta alla terra dal piano dell'equatore celeste si chiama *equatore terrestre;* questo nome si applica più particolarmente alla periferia di tale sezione, cioè alla periferia in cui l'equatore celeste sega la superficie del nostro globo. Si dicono *paralleli terrestri* i circoli (*pp'*) descritti sulla superficie del globo parallelamente all'equatore terrestre: essi hanno raggio più piccolo mano mano che son più

Fig. 143.

(1) EE' sia la sezione dell'equatore col meridiano del luogo; l'angolo che l'equatore fa coll'orizzonte, cioè l'altezza dell'equatore, ha per misura l'arco EO'. Ora, essendo $EN = 90°$ è pure $EO' + NO = 90°$, dunque $EO' = 90° - NO$.

(2) $ZE + ZN = 90°$, $NO + ZN = 90°$, dunque $ZE = NO$.

vicini ai poli. Si dicono *meridiani terrestri* i circoli (*nms*) in cui i meridiani celesti segano la superficie del globo; sono tanti circoli massimi che s'intersecano tutti nei due poli.

I due poli della terra hanno la sfera parallela (§ 252); i paesi equatoriali hanno la sfera retta, e tutte le altre parti della superficie terrestre la sfera obbliqua.

Se la terra fosse perfettamente sferica i meridiani suoi sarebbero circoli perfetti, e però la lunghezza di ciascun grado di meridiano, vale a dire di quella parte di circolo meridiano che è compresa fra due verticali inclinate l'una all'altra di un grado, sarebbe la medesima su tutto il giro. Ma si trova che non è così. Nel secolo passato si notarono alcune differenze tra le lunghezze dei diversi gradi di meridiano; le difficoltà della misura mettevano dubbio che le differenze provenissero da errore. L'Accademia delle scienze di Parigi reputò che la differenza dei gradi, se fosse reale, apparirebbe più grande nel paragone di gradi all'equatore con gradi vicino ai poli. Essa mandò accademici all'equatore (La Condamine al Perù), i quali trovarono che il grado di meridiano vi è meno lungo che in Francia; mandò accademici nel settentrione (Maupertuis in Lapponia), i quali trovarono che il grado vi è più lungo che in Francia. Il modo di fare le misure è questo. Una stella fissa qualunque è così distante dalla terra che le visuali dirette ad essa nel medesimo tempo da punti anche diametralmente opposti della superficie terrestre non comprendono un angolo sensibile ma riescono parallele tra loro. Perciò le visuali ad una medesima stella sono come a dire tanti fili paralleli a cui paragonare le direzioni delle verticali dei diversi luoghi per trovare facilmente l'angolo compreso dalle verticali stesse (1). Così può aversi con esattezza l'angolo compreso dalle due verticali estreme di un certo arco di meridiano, ossia la misura dell'arco medesimo. Questa risulti, per esempio, di 10°. Ora si tratta di trovare la lunghezza di tale arco, che divisa per 10 dà la lunghezza di un grado. L'arco non si misura direttamente, chè sarebbe troppo lungo affare e le più volte impossibile per gli accidenti del suolo; invece si collegano i due capi dell'arco per mezzo di una serie di triangoli ai due capi di una base facil-

(1) È evidente che l'angolo compreso dalle verticali corrispondenti alle estremità di un arco meridiano sulla terra è uguale alla differenza delle altezze angolari che ha sull'orizzonte dei due luoghi una medesima stella quando passa per il meridiano. Misurate queste altezze, si ha dunque subito il valore dell'angolo, ossia dell'arco compreso dalle due verticali.

mente misurabile di 10 o 12 mila metri, e, atteso la precisione con che si può fare la misura degli angoli di quei triangoli e la misura di questa base, ottiensi col calcolo la misura esatta della lunghezza dell'arco.

Si eseguì la misura di parecchi archi di più gradi su diversi meridiani e a diverse distanze dall'equatore, al Perù, in India, al Capo di Buona Speranza, in Pensilvania, in Italia, in Spagna, in Francia, in Germania, in Inghilterra, in Svezia, e fu posto fuori di dubbio che la lunghezza del grado di meridiano cresce via via che si va dall'equatore verso i poli. All'equatore dunque le verticali estreme di un grado di meridiano si incontrano nell'interno della terra a minore distanza dalla superficie che non quelle verso i poli (fig. 144), cioè all'equatore la curvatura della superficie terrestre è meglio pronunciata che ai poli; dunque la terra all'equatore è rigonfia e ai poli è alquanto depressa.

Fig. 144.

Da tutte le misure di gradi considerate insieme si può desumere le lunghezze del raggio della terra ne' diversi luoghi.

Il raggio all'equatore è . . . . metri 6376984
Il raggio al polo . . . . » 6356324
La differenza dei due raggi . . . . . . » 20660.

La depressione al polo è la differenza tra il raggio all'equatore e il raggio al polo divisa per il raggio all'equatore; essa, giusta i dati suddetti, è di $^1/_{308,63}$.

Il raggio medio della terra è quello che corrisponde ai punti equidistanti da un polo e dall'equatore; si trova di 6366745^m; altre misure lo danno di 6366194^m; ma la differenza è trascurabile nella maggior parte delle applicazioni.

L'unità lineare detta *metro* è la decimilionesima parte del quadrante che misura la distanza del polo nord dall'equatore; un grado medio sessagesimale di circolo massimo terrestre è dunque di 111111 metri. Questa lunghezza di un grado serve di fondamento alle unità delle nostre misure itinerarie. La 60.^{ma} parte di questa lunghezza (un minuto primo di arco) è il *miglio geografico* o *italiano*, in uso presso i naviganti di quasi tutte le nazioni d'Europa; è lungo 1852 metri, e si dice miglio di 60 al grado, perchè ve n'ha 60 in un grado. La lega di posta di 28 $^1/_2$ al grado vale 5898^m. La lega di Francia, o miglio di 25 al grado, è 4444^m; il miglio d'Allemagna di 15 al grado è 7408^m.

Le ineguaglianze della superficie terrestre (monti, valli, fondi di mare) sono un nulla in confronto della grandezza del globo. Le più alte cime di monti (catena dell'Himalaya) sono a poco più che 8000 metri sul livello del mare; questa altezza è appena $^1/_{1600}$ del diametro terrestre, però sopra un globo di un metro di diametro un monte di tanta altezza sarebbe rappresentato da una prominenza di $^1/_{1600}$ di metro, cioè $^5/_8$ di millimetro. Le maggiori profondità a cui si giunse negli scavi delle miniere non passano gli 800^m sotto il livello del mare, $^1/_{16000}$ del diametro terrestre; nel globo di un metro di diametro sarebbero rappresentate da scalfiture non più profonde che $^1/_{16}$ di millimetro. Probabilmente la media profondità del mare è poco diversa dalla media elevazione dei continenti sul livello delle sue acque (1). Nel globo suddetto l'Oceano sarebbe un velo liquido grosso circa $^1/_3$ di millimetro. Ma badiamo di non

(1) Il capitano Denham degli Stati Uniti pretende di avere esplorato ultimamente al Capo di Buona Speranza una profondità di oltre 22000^m, che è molto maggiore delle massime altezze dei monti.

formarci una immagine esagerata della grandezza della terra. Un viaggiatore per farne il giro su di un circolo massimo avrebbe a percorrere 9000 leghe di 25 al grado, e, supposto la velocità di 100 leghe al giorno, quale è press'a poco sulle strade ferrate, egli compirebbe il giro in 90 giorni. Se fosse possibile di correre dentro del globo dirittamente al centro con la medesima velocità, si arriverebbe al centro in 14 giorni e poche ore.

255. *Latitudini e longitudini geografiche.* La terra dunque non è perfettamente sferica, e pare che non sia nemmeno una elissoide esatta; questo è certo ch'ella è schiacciata ai poli ed elevata all'equatore. Giusta l'uso di chiamare lunghezza di un corpo la maggiore delle dimensioni sue, e larghezza una delle minori, si dice, anche per la terra, dimensione di lunghezza o *longitudine* quella nel senso dell'equatore, di larghezza o *latitudine* quella fra i due poli [1].

I meridiani e l'equatore valgono a designare la posizione di un punto qualunque della superficie terrestre. Ecco il modo. Si dice *latitudine di un luogo* della superficie terrestre la distanza che esso ha dall'equatore misurata in gradi sul meridiano del luogo; ebbe questo nome perchè indica in quale parte della larghezza della terra il luogo si trova. La latitudine può essere *boreale* od *australe* secondochè il luogo è più vicino al polo nord che al polo sud e viceversa; quella si dinota col segno +, questa col segno —. Si dice *longitudine di un luogo* la distanza del meridiano del luogo da un certo meridiano stabilito (primo meridiano) misurata sull'equatore: ebbe questo nome perchè indica in quale parte della lunghezza della terra si trova il luogo; essa è orientale (+) o occidentale (—) secondo chè il luogo è ad oriente o ad occidente del primo meridiano. La latitudine e la longitudine di un luogo sono due coordinate sferiche le quali individuano il luogo, la prima indica in che parallelo questo si trova, la seconda in che meridiano e in quale dei due punti d'intersezione col parallelo. Così il primo meridiano e l'equatore sono due piani che insieme a queste coordinate servono a designare la posizione del punto.

(1) Veramente l'origine dei due nomi si fu che quando Tolomeo, pel primo, dietro un pensiero di Ipparco, si fece ad individuare le posizioni dei luoghi terrestri per mezzo di distanze coordinate, le regioni conosciute si stendevano molto più da levante a ponente che da mezzogiorno a settentrione, e così le distanze pel primo verso appellaronsi longitudini, quelle pel secondo latitudini. Ora giova riferire la ragione dei due nomi alla forma della terra.

Si può fissare a primo meridiano quello che si vuole: per lunga pezza si tenne come primo il meridiano della punta più occidentale dell'isola del Ferro, che è l'isola tra le Canarie più in là verso ponente; adesso ciascuna nazione prende come primo quello del suo principale osservatorio. Il meridiano che passa per l'osservatorio di Parigi dista dal suddetto di 20° verso oriente: le longitudini contate dal meridiano di Parigi si riducono dunque a quelle contate dall'Isola del Ferro aggiungendo 20° alle orientali e togliendo 20° dalle occidentali. Alcuni contano le longitudini dalla parte di oriente lungo tutta la periferia dell'equatore fino a tornare al primo meridiano; in questo metodo non è più da distinguere longitudine orientale ed occidentale, e mentre nell'altro metodo le longitudini non passano i 180°, in questo il limite è 360°.

Vediamo come si possa con osservazioni di astri determinare la latitudine e la longitudine di un luogo della terra.

La latitudine geografica di un luogo (L, fig. 145) è uguale

Fig. 145.

alla distanza (ZE) del suo zenit dall'equatore celeste, o all'al-

tezza (PO) del polo sull'orizzonte del luogo [1]. Si troverà dunque la latitudine di un luogo, notando la massima e la minima altezza che ha sull'orizzonte una stella circumpolare e prendendo la semisomma di queste due altezze, cioè con la regola con cui si trova l'altezza del polo (§ 253).

La longitudine si può determinare col mezzo di una misura di tempo (ore, minuti ecc.); e la ragione e il modo son questi. Ogni punto della sfera celeste, ossia ogni astro, descrive nel moto uniforme diurno una periferia di circolo, cioè descrive in 24 ore 360°, e però 15° all'ora. Si immagini un astro nel meridiano celeste che comprende il meridiano della terra fissato come primo e dal quale si parte a contare le longitudini. L'astro dopo un'ora sarà nel meridiano celeste dei luoghi a 15° di longitudine occidentale, dopo due ore sarà nel meridiano dei luoghi a 30° di longitudine occidentale, ecc., ecc. L'astro sia il sole, e si supponga per adesso che non abbia altro movimento che quello della sfera celeste. Quando il sole si trova nel meridiano celeste che corrisponde al primo meridiano terrestre, allora nei luoghi di questo meridiano dai quali si vede il sole è mezzodì, e il sole, continuando il suo cammino, va a recare il mezzodì successivamente ai luoghi che sono più e più in là verso occidente; così quando è mezzodì nei luoghi a 15° di longitudine occidentale è un'ora dopo mezzodì nei luoghi del primo meridiano, quando è mezzodì nei luoghi a 30° di longitudine occidentale è due ore dopo mezzodì nei luoghi del primo meridiano e così via. Per siffatto legame tra le differenze di longitudine dei diversi luoghi e le differenze delle ore che si hanno in essi nel medesimo istante, è chiaro che da queste differenze delle ore si desume subito la differenza delle longitudini dei luoghi. La difficoltà è di co-

(1) Si tratti del luogo L. Siano $Lpp'L$ il suo meridiano terrestre, $ZPP'Z$ il corrispondente meridiano celeste, nei quali p,p' sono i due poli terrestri, P,P' i celesti e Z il zenit del luogo. La sezione del meridiano coll'equatore celeste sarà EE' e col terrestre sarà ee'. La sezione del meridiano coll'orizzonte *sensibile* del luogo sarà oo'. Si immagini un piano parallelo all'orizzonte e passante pel centro C della terra: questo piano si può riguardare quale orizzonte del luogo quando si fanno osservazioni di stelle, perchè, a fronte della grandissima distanza che le stelle hanno da noi, il raggio del globo è una quantità trascurabile, e però l'orizzonte sensibile si confonde con questo piano a cui si dà nome di orizzonte *razionale* o *vero*. La retta OO' si può dunque prendere per sezione del meridiano coll'orizzonte del luogo L. Ciò posto la latitudine di L è $Le = ZE$, l'altezza del polo sull'orizzonte di L è PO. Ora ZE è appunto eguale a PO, perchè si l'una come l'altra sono complemento della ZP, distanza del zenit dal polo (§ 253.)

noscere esatto la differenza delle ore. A ciò servono diversi metodi; ci basti dirne qualcuno.

Gli astronomi hanno calcolato in che istanti saranno visibili da un dato meridiano della terra il principio e il fine degli eclissi di luna, di sole, dei satelliti di Giove, le occultazioni di certe stelle dietro la luna, e ciò per una buona serie di anni avvenire; le tavole degli istanti espressi colle misure di tempo che corrispondono a quel meridiano, sono pubblicate. Ora si supponga che un viaggiatore, il quale si trovi a distanza qualunque da quel meridiano, osservi uno di tali eclissi od una di tali occultazioni; ricorrendo alle tavole, egli vi legge che ora fa nel dato meridiano in quell'istante che si vede il fenomeno, e la differenza tra quest'ora e l'ora del luogo in cui si trova gli vale a conoscere subito la longitudine di questo luogo. Legge, per esempio, 9 ore, e nel luogo in cui si trova sono le 7, la longitudine è occidentale rispetto al dato meridiano e di 30°; legge 8 ore e mezzo, e nel luogo sono le 11 la longitudine è orientale e di 37°, 30′. È evidente che la differenza delle ore in due luoghi nell'istante del fenomeno che si osserva, sta al giorno intiero, cioè a 24 ore, come l'angolo o l'arco compreso fra i meridiani dei due luoghi sta alla circonferenza intiera, cioè a 360°. Ogni giorno o notte che il cielo sia sereno si può fare di queste osservazioni perchè nelle tavole son registrati di tal sorta fenomeni per ogni giorno dell'anno e a farle non è duopo di cannocchiali molto forti. Ma pure gli eclissi e le occultazioni bisogna aspettare che avvengano; non sono fenomeni che valgano a determinare la longitudine in un momento qualunque. A ciò servono le osservazioni delle distanze angolari che ha la luna dalle stelle principali. Nell'istante che si vuole si misura la distanza angolare della luna da una certa stella, si guarda nelle tavole qual'è l'ora che nell'osservatorio a cui le tavole si riferiscono si ha in quell'istante della distanza angolare misurata, e dal confronto di tale ora con l'ora del luogo si desume tosto la longitudine di questo luogo. Così può dirsi che il firmamento è un grande orologio in cui si legge da qualunque sito l'ora dell'osservatorio; le stelle sono i punti che vi segnano le ore, e la luna è l'indice che vi si move.

Talvolta in mare per il movimento della nave le osservazioni celesti sono difficili e mal sicure, però si adopera un altro mezzo. Ogni nave è munita di un esattissimo orologio (cronometro) che non smarrisce punto la regolarità del suo moto nè per variazioni di temperatura nè per scosse. Quando la nave è sul par-

tire si aggiusta il cronometro a segnare l'ora del meridiano a cui si vuol riferire la longitudine; il cronometro, per la regolarità del moto, viene mostrando sempre lungo il viaggio l'ora che si ha in quel meridiano, appunto come se fosse rimasto là nel meridiano stesso a misurare il tempo. Si paragona l'ora del luogo in cui si trova la nave con l'ora del meridiano suddetto segnata dal cronometro, e dalla differenza si desume la longitudine del luogo. L'esattezza di questo metodo dipende dall'esattezza dei cronometri la quale adesso è molto vicina alla perfezione (1).

Si usa anche di rappresentare le longitudini in tempo, cioè per mezzo delle differenze delle ore che si hanno contemporaneamente nei diversi luoghi.

Se alla notizia della latitudine e della longitudine di un luogo si aggiunge quella dell'altezza sul livello del mare, che può aversi dal barometro (§ 47, 2.), la posizione del luogo è designata compiutamente da tre coordinate, due orizzontali ed una verticale.

Trovata la situazione geografica dei varii luoghi, si rappresentano i paesi o sulla superficie di globi o su carte piane. Nelle carte geografiche i meridiani e i paralleli sono rappresentati con linee rette o curve, e si leggono ai margini le divisioni loro in gradi; ma poichè il foglio è piano e la superficie della terra à curva, le distanze da luogo a luogo non riescono esattamente proporzionali nelle carte alle vere distanze terrestri. La scala metrica che spesso vi si trova segnata non si può applicare immediatamente se non a trovare le brevi distanze; le distanze maggiori di 100 miglia conviene valutarle con un calcolo particolare.

256. *Utilità pratica e valore civile dell'astronomia.* Qui è già dato intendere come la scienza degli astri abbia giovato e giovi la civiltà. Ascoltiamo Cittadella Vigodarzere.

« Non è alcuna fra le scienze che a prima giunta potesse reputarsi tanto lontana dai beni materiali degli uomini e dagli usi della vita quanto le matematiche in generale, ed in parti-

(1) I telegrafi elettrici, trasmettendo in un attimo la notizia dell'ora o della culminazione di una stella da una stazione ad un altra lontana, possono servire a determinare la differenza di longitudine delle due stazioni. Durante il 1853 si trovò la differenza di longitudine tra il cannocchiale meridiano dell'osservatorio di Cambridge e il cannocchiale meridiano dell'osservatorio di Greenwich, deducendola da 279 segnali telegrafici. Ora si fanno segnali telegrafici per verificare il valore della differenza di longitudine tra Londra e Parigi.

colare l'astronomia. Nella celestiale altezza delle sue contemplazioni sembrerebbe ella più che ogni altra disciplina dimentica di tutto ciò che avvi di terrestre e di pratico; eppure ella diventò, quasi direi, tutrice della geografia e liberolla prestamente da molti difficoltosi impacci, in cui si abbatteva nel determinare la esatta posizione dei luoghi. Inoltre da essa ci venne l'abilità ai lunghi viaggi marittimi. Il breve novero degli astri meglio appariscenti e distinti valse bensì nell'antichità più remota di alcuna scorta a' que piloti che ardirono staccarsi tanto dalla riva da non più vedere la terra: ma l'ardimento di cacciarsi all'abbandonata entro al mare riguardavasi come gioco fortuito della vita. Il mare segnava allora un limite quasi insuperabile alle idee, ai costumi, alle arti, alle produzioni agrarie ed industriali dei popoli; le voci che la dottrina levava in una regione sperdevansi nel muggito dei flutti che la separavano dalle altre contrade; le nazioni sconoscendosi fra loro, si ricambiavano la ingiuriosa denominazione di barbare; ad una metà della terra rimaneva ignota l'altra metà. Alla unione dei popoli fu principio e mezzo l'astronomia.... Questa, discesa dalle sublimi sue peregrinazioni in ajuto dell'uomo ch'erra fra mezzo a rabbia di venti e insidie di scogli sulla eguale indistinta faccia dei mari, gli squadernò, gli illustrò il fulgido volume dei firmamenti e lo giovò di una certezza tanto veritiera quanto è sicuro e indefettibile l'ordine delle sfere. Le tavole astronomiche mostrano al navigante ad ogni momento in qual punto del globo egli sia, con tanto scrupolo di precisione che esclude persino la possibilità dell'errore. Ecco perciò descritta sulla superficie dei mari una rete di linee, sulle quali i vascelli corrono un cammino pericoloso ancora ma non ignoto; ecco viaggi frequenti a lontanissime prode. Dai viaggi i commerci continui, rapidi, multiformi; dai commerci la permutazione dei prodotti agrarj, dei lavori industriali, e il trapiantamento non solo degli utili vegetabili ma quello molto più importante della civiltà. Ora quale fu la scaturigine di tanti beni? La soluzione di qualche arduo problema di calcolo integrale e la paziente derivazione di quelle serie lunghissime di cifre algebriche i di cui risultamenti valgono al pilota quanto il timone o la bussola. Gli uomini non godrebbero di così libero ed ampio uso del mare, se l'astronomia e le matematiche non avessero prima acquistato una specie di dominio nel cielo » [1].

(1) Dalla sapiente orazione con cui S. E. il Conte dottor Andrea Cittadella Vigodarzere inaugurò il IV Congresso degli Scienziati Italiani in Padova.

257. *Tavola delle latitudini e longitudini di alcuni luoghi.*

Città.	Latitudine.				Longitudine da Parigi.			
Ajaccio	+	41°,	55′,	1″	+	6°,	24′,	18″
Bassano (torre dell' orol.)	»	45,	45,	45	»	9,	25,	46
Belluno (torre civica)	»	46,	7,	59	»	9,	52,	43
Bergamo	»	45,	41,	55	»	7,	20,	55
Berlino (osservatorio)	»	52,	30,	16	»	11,	3,	30
Bologna (osserv.)	»	44,	29,	54	»	9,	0,	36
Brescia	»	45,	32,	19	»	7,	53,	8
Bruxelles (osserv.)	»	50,	51,	10,8	»	2,	1,	52
Capo di Buona Sper. (osserv.)	—	33,	56,	3,5	»	16,	8,	25
Civitavecchia	+	42,	4,	36	»	9,	24,	36
Como (cupola del duomo)	»	45,	48,	26	»	6,	44,	36
Cremona	»	45,	8,	1	»	7,	41,	22
Edimburgo	»	55,	57,	23,2	—	5,	30,	47
Ferrara	»	44,	50,	36	+	9,	16,	49
Firenze	»	43,	46,	40,8	»	8,	55,	30
Genova	»	44,	24,	18	»	6,	34,	0
Ginevra (nuovo osserv.)	»	46,	11,	58,8	»	3,	49,	0
Greenwich (osserv.)	»	51,	28,	39,0	—	2,	20,	23
Livorno (fanale)	»	43,	32,	41	+	7,	57,	25
Lodi	»	45,	18,	34	»	7,	9,	45
Londra (torre di S. Paolo)	»	51,	30,	49	—	2,	26,	11
Lucca	»	42,	55,	27	+	8,	11,	17
Lugano	»	46,	0,	1	»	6,	36,	28
Mantova (la Gabbia)	»	45,	9,	34	»	8,	37,	37
Marsiglia (osserv.)	»	43,	17,	49,0	»	3,	2,	0
Messina (fanale)	»	38,	11,	3	»	13,	14,	30
Milano (osserv. di Brera)	»	45,	28,	0,7	»	6,	51,	12
Modena	»	44,	38,	52,8	»	8,	35,	36
Napoli (osserv. di Capo di monte)	»	40,	51,	46,6	»	11,	54,	45
Padova (osserv.)	»	45,	24,	2,5	»	9,	32,	20
Palermo (osserv.)	»	38,	6,	36	»	11,	0,	56
Parigi (osserv.)	»	49,	50,	13,0	»	0,	0,	0
Parma (S. Giov.)	»	44,	48,	15	»	7,	59,	44
Pavia (Univ.)	»	45,	11,	1	»	6,	49,	2
Pisa (osserv.)	»	43,	43,	12	»	8,	3,	34

Città.	Latitudine.	Longitudine da Parigi.
Roma (osserv. coll. Rom.)	+ 41°, 53', 54",0	+ 10°, 8', 18"
Rovigo (Madonna del Soccorso)	» 45, 4, 5	» 9, 27, 17
S. Elena (osserv.)	— 15, 55, 26,0	— 8, 3, 14
Sondrio	+ 46, 10, 0	+ 7, 31, 56
Trento	» 46, 3, 59	» 8, 44, 37
Torino (nuovo osserv.)	» 45, 4, 6,0	+ 5, 21, 44
Treviso (torre civica)	» 45, 39, 41	» 9, 54, 24
Trieste	» 45, 38, 37	» 11, 26, 12
Udine	» 46, 3, 36	» 10, 53, 55
Washington (osserv.)	» 38, 53, 25,0	— 79, 23, 0
Venezia (S. Marco)	» 45, 25, 55	» 9, 56, 33
Verona (torre civica)	» 45, 26, 10	» 8, 39, 0
Vicenza (torre civica)	» 45, 32, 46	» 9, 13, 9
Vienna (osserv. all'univ.)	» 48, 12, 35,5	» 14, 2, 36
Zara	» 44, 6, 51	» 22, 53, 33

258. *Come si designa la situazione degli astri nella volta celeste. Declinazione. Ascensione retta.* La situazione degli astri nella volta del cielo si designa in modo simile che quella dei luoghi nella superficie terrestre. Si immagina un piano che passa per i due poli del mondo e per il centro dell'astro di cui si vuol notare il sito; questo piano taglia la sfera celeste in un circolo massimo perpendicolare all'equatore che si chiama *circolo di declinazione;* l'arco di tale circolo compreso tra il centro dell'astro e l'equatore celeste si dice *declinazione dell'astro.* La declinazione dell'astro è dunque la distanza che esso ha dall'equatore celeste, è analoga alla latitudine dei luoghi sulla superficie della terra, e, come questa, si distingue in boreale ed australe secondochè l'astro è nell'emisfero celeste boreale od australe.

Tutti gli astri che sono sul medesimo parallelo hanno declinazione uguale; per individuare la posizione di un astro ci vuol dunque un altro elemento oltre la declinazione; questo è la distanza del circolo di declinazione dell'astro da un altro circolo di declinazione che sia fissato come primo, la quale distanza si misura sull'equatore da ovest verso est per tutta la circonferenza, cioè da 0° a 360°; è un elemento analogo alla longitudine dei luoghi terrestri, e si dice *ascensione retta dell'astro.*

Vedremo poi quale sia il piano di declinazione fissato come primo.

Il sito degli astri si designa dunque per mezzo della loro declinazione e della loro ascensione retta, due coordinate sferiche per le quali il sito di ogni astro viene collegato a due piani perpendicolari l'uno all'altro, l'equatore e il primo circolo di declinazione. Se un astro ha un moto proprio si definisce il suo corso, cioè si trova la linea del suo moto (orbita), col segnare la serie dei luoghi in cui è l'astro ne' diversi tempi. Confrontando poi l'ordine di questi tempi con l'ordine dei luoghi corrispondenti si ottiene la legge del moto.

La declinazione di un astro si trova in diversi modi (1):

1.° Basta misurare l'altezza che ha l'astro sull'orizzonte quando culmina (altezza meridiana) e sottrarne l'altezza dell'equatore, la quale si desume dalla latitudine geografica del luogo

(1) L'astro sia in A (fig. 146): il circolo di declinazione è NABS; la declinazione che si vuol trovare è l'arco AB. L'astro percorre il parallelo PP ed è culminante in P. Ciò posto, ecco per ordine la dichiarazione dei tre modi:

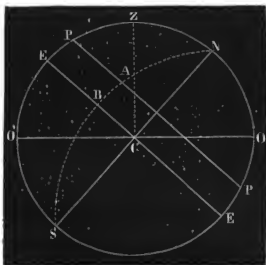



Fig. 146.

1.° AB=PE=O'P—O'E, dove O'P è l'altezza meridiana dell'astro ed O'E è l'altezza dell'equatore sull'orizzonte. Nota dunque l'altezza O'E dell'equatore sull'orizzonte, la quale è il complemento della latitudine geografica della stazione, basta misurare l'altezza meridiana dell'astro e toglierne l'altezza dell'equatore per avere la declinazione dell'astro.

da cui si osserva. Se il residuo è positivo la declinazione è boreale, se negativo è australe.

2.° Siccome la distanza che ha un astro dall'equatore unita con quella che esso ha dal polo forma 90°, così la declinazione è complemento della distanza polare, e quindi la si può trovare per mezzo della distanza che ha l'astro dal polo. Se questa distanza supera i 90° è segno che la declinazione è australe, e se ne ha il valore col sottrarre da 90° la distanza osservata.

3.° La declinazione di un astro è uguale evidentemente alla latitudine del luogo meno la distanza che l'astro culminante ha dal zenit; basta dunque osservare questa distanza per ottenere la declinazione. Se l'astro è tra il zenit e il polo la declinazione è uguale alla somma di questa distanza e della latitudine.

Per fissare con esattezza la declinazione di un astro bisogna emendarla dall'errore dipendente dalla rifrazione (§ 161).

L'ascensione retta si trova con una misura di tempo, cioè del tempo che passa tra la culminazione di un astro che è nel primo circolo di declinazione e la culminazione dell'astro di cui si tratta. È facile tradurre questa misura di tempo in misura di arco nella guisa che si disse per le longitudini terrestri. Infatti ogni astro percorre di moto uniforme i 360° del suo circolo parallelo in 24 ore; se dunque un astro passa pel meridiano un ora dopo che vi passò un'altro astro situato nel primo circolo di declinazione si deve dire che la sua ascensione retta è $^1/_{24}$ dell'intiera circonferenza, ossia è 15°, e così in proporzione per le altre differenze di tempo [1].

259. *Come si valuta la distanza degli astri dalla terra. Parallasse.* Coi metodi qui toccati si designa il sito di un astro nella volta celeste; per individuare il vero suo luogo nello spazio ci vuole anche un terzo elemento che è la distanza dell'astro dalla terra. Vediamo il principio a cui si attiene il metodo di misurare questa distanza.

L'esperienza, già prima d'ogni studio di ottica, ci insegna a

2.° Poichè EP+PN=90°, è EP=90°−PN, e così basta la misura della distanza polare PN a definire la declinazione dell'astro.

3.° PE=EZ−PZ. Nota dunque la latitudine EZ, si ha la PE quando siasi misurata PZ.

(1) Supposto che il primo circolo di declinazione sia NO'SO (fig. 146), l'ascensione retta è l'arco BE. Per il moto uniforme della sfera celeste il tempo t ore impiegato dalla sfera a girare dell'arco BE sta al tempo impiegato a fare una rivoluzione intiera, cioè a 24 ore, come l'arco BE di cui si vuole il valore x gradi sta a tutta la periferia, cioè a 360°. La x si ha dunque dalla proporzione: $t:24=x:360$, o $t:1=x:15$.

giudicare della distanza di un oggetto noto (AB, fig. 147) dall'angolo più o meno grande (ACB) che formano le visuali dirette di faccia ai due suoi punti estremi. Quest'*angolo visuale* che definisce la grandezza apparente (grandezza angolare) dell'oggetto è tanto più piccolo quanto più l'oggetto è distante. A che distanza un oggetto avrà la grandezza apparente di un minuto secondo? La periferia del circolo è di 1296000 minuti secondi, il raggio è circa 206000 volte la lunghezza del minuto secondo riguardato come una retta; dunque, supposto che l'osservatore sia al centro (C, fig. 147) di un circolo e che l'oggetto (AB) sia collocato in sulla periferia è chiaro che la grandezza apparente (ACB) sarà di un minuto secondo quando il raggio (CB) del circolo o la distanza dell'oggetto sia 206000 volte la grandezza (AB) di questo. Se l'oggetto sarà un'asta lunga un metro, la sua grandezza angolare alla distanza di 206000 metri sarà di un minuto secondo. Reciprocamente se la grandezza angolare dell'asta lunga un metro, o di un oggetto qualunque di nota dimensione, sarà di un minuto secondo, converrà che la sua distanza sia 206000 metri o in generale 206000 volte la dimensione di quell'oggetto. Similmente si dica per altre grandezze angolari. Dunque, nota la dimensione di un oggetto, si può misurare le distanze desumendole dalle grandezze angolari che ha l'oggetto a quelle distanze, e in siffatti computi la dimensione dell'oggetto viene ad essere l'unità di misura.

Fig. 147.

È evidente che per una medesima distanza la grandezza angolare di un oggetto riesce tanto maggiore quanto più l'oggetto è grande, perciò a trovare col mezzo delle grandezze angolari le distanze grandi convien scegliere oggetti pur grandi, affinchè l'angolo da misurare non sia troppo piccolo e quindi la difficoltà della misura non nuoca troppo al vero. Perciò, trattandosi di distanze grandissime, come son quelle degli astri dalla terra, conviene che l'oggetto noto da osservare abbia una dimensione grandissima. Ecco il nostro globo; esso di tutti i corpi che ci è dato misurare direttamente è il più grande; li comprende tutti. Se fosse possibile salire ne' diversi astri e di là guardare

il nostro globo, forsechè la grandezza angolare del suo diametro sarebbe un mezzo sufficiente alla misura delle distanze degli astri. Ma agli astri non si va. Pure è dato valutare dalla terra quale sarebbe la grandezza angolare di una dimensione di questa, p. e. del suo raggio, per chi fosse in un astro a guardarla.

Due osservatori si trovino su d'uno stesso meridiano della terra in due punti (A,B, fig. 148), la cui distanza (AB) l'uno dal-

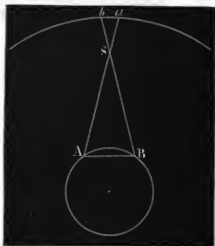



Fig. 148.

l'altro sia una corda uguale p. e. al raggio del globo, e guardino nel medesimo istante ad un medesimo astro (S). Le loro visuali incrociatesi nell'astro vanno a ferire la volta del cielo in due punti diversi (*a*,*b*), e ciascun osservatore vede l'astro in quel punto dove batte la sua visuale. La distanza tra i due punti in cui è veduto l'astro è segnata da un arco (*ab*) del meridiano celeste corrispondente al terrestre delle due stazioni. Si può ottenere la misura dell'angolo compreso dalle due visuali nell'astro con diversi metodi; sia per mezzo del triangolo (ABS) che ha il vertice nell'astro e la cui base è la distanza delle stazioni, giacchè si può determinare il valore dei due angoli (SAB, SBA) che le visuali fanno con la base, ed è chiaro che l'angolo (ASB) che si vuol conoscere è il supplemento della somma di questi due (ASB=180°—SAB—SBA); sia per mezzo dell'arco celeste (*ab*) che segna la distanza dei due punti in cui l'astro si scorge dai due osservatori, giacchè tale arco, es-

sendo la misura dell'angolo (aSb) opposto al vertice di quello che si vuol conoscere, è anche la misura di quello stesso. Ora quell'angolo così conosciuto è appunto la grandezza apparente della distanza (AB) tra le due stazioni per chi fosse nell'astro a guardarla. C'è dunque modo a sapere qui sulla terra quale sarebbe la grandezza angolare di una certa estensione del nostro globo se la si osservasse da un astro qualunque, e però c'è modo a sapere la distanza dell'astro dalla terra.

Se la distanza dell'astro è così grande che l'intervallo fra le due stazioni è al confronto una quantità trascurabile, l'angolo (ASB) delle due visuali nell'astro non riesce sensibile, l'astro veduto dalle due stazioni non apparisce in due punti diversi (a,b), ma cade in un medesimo punto del cielo. Chi stesse nell'astro a guardare non discernerebbe l'intervallo delle due stazioni. Allora è chiaro che tale intervallo non basta a trovare la distanza dell'astro, ce ne vuole uno maggiore che renda sensibile l'angolo delle due visuali.

Quando quest'angolo è sensibile ognuno degli osservatori che siano in luoghi lontani l'uno dall'altro riferisce la posizione dell'astro a un punto diverso del cielo; e però, se ognuno stesse contento a notare il luogo del cielo in cui vede l'astro, la sua nota non servirebbe che per la sua stazione; le note di tutti sarebbero tutte discordi. Gli astronomi a mettere in tante apparenze diverse quella unità che le concilia tutte e che sola può farci abilità di scoprire le vere leggi dei fenomeni, stabilirono di ridurre i risultati di tutte le osservazioni a quelli che sarebbero se le osservazioni fossero fatte da un medesimo punto, e si accordarono che questo punto sia il centro della terra. Il luogo del cielo dove in un certo istante vedrebbe l'astro chi lo guardasse dal centro della terra si dice *luogo vero* dell'astro, e il luogo dove lo vede in quell'istante chi lo guarda dalla superficie terrestre si dice *luogo apparente*. La distanza del luogo vero dal luogo apparente si chiama *parallasse* dell'astro, che vale traslocamento (παρά, presso; ἀλλάττω mutare) perchè misura di quanto si trasloca in vista l'astro nel cielo a guardarlo da un luogo e dall'altro.

Gli astronomi riducono le declinazioni e le ascensioni rette apparenti nei diversi luoghi in cui osservano a quelle che sarebbero per chi osservasse dal centro della terra; e così designano tutti il luogo vero degli astri.

Ecco alcune proposizioni più o meno evidenti intorno alle **parallassi.**

1.° Se l'astro (A, fig. 149) è allo zenit, la parallasse è nulla perchè l'astro si vede al medesimo luogo (Z) e dalla superficie (S) e dal centro (C) della terra; il luogo apparente è anche il vero.

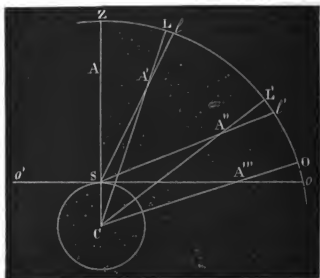



Fig. 149.

2.° Quando l'astro non è allo zenit (è p. e. in A', A''), il luogo apparente (*l*, *l'*) è sempre meno alto nella sfera celeste che il luogo vero (L,L'), e la differenza cresce al diminuire dell'altezza dell'astro sull'orizzonte. La parallasse poi è sempre in un piano verticale, onde per essa l'astro apparisce spostato solo in altezza e non lateralmente (1).

3.° Quando l'astro è all'orizzonte (*o*) la parallasse è massima; la si chiama parallasse orizzontale.

Queste tre proposizioni significano che la parallasse diminuisce mano mano che l'astro s'innalza sull'orizzonte, e si annulla quando l'astro tocca al zenit (2).

(1) Ciascuna visuale CA'L CA''L', SA'*l*, SA''*l'*, ecc., ha un punto comune con la verticale CSZ, però è verticale il piano in cui giace ciascuna parallasse.

(2) Dal triangolo A'''SC rettangolo in S si ha:

$$CA''' : CS = 1 : \text{sen } CA'''S \quad (a).$$

Per uno qualunque degli altri triangoli A''SC, A'SC.. si ha:

$$CA' : CS = \text{sen } CSA' : \text{sen } CA'S.$$

4.° Data la parallasse di un astro veduto ad una certa altezza sull'orizzonte, se ne può sempre dedurre la parallasse orizzontale, e viceversa [1].

5.° La parallasse orizzontale di un astro è la misura della grandezza angolare del raggio terrestre per chi lo guardasse di faccia dall'astro.

6.° Per la forma sferoidica della terra la parallasse orizzontale di un medesimo astro è diversa ne' varii luoghi, secondochè è diversa la lunghezza del raggio terrestre corrispondente a quei luoghi. La massima parallasse orizzontale si ha nei luoghi dell'equatore.

7.° La parallasse orizzontale, poichè misura la grandezza apparente del raggio terrestre veduto dall'astro, serve a trovare la distanza dell'astro dal centro della terra [2].

8.° Le distanze che hanno dal centro della terra due astri veduti alla medesima altezza sono in ragione inversa delle loro parallassi [3].

Trattandosi di un medesimo astro che si osserva in ore diverse di un certo giorno, quando è in A''' all'orizzonte, e quando è a un' altezza A'' o A', le distanze CA''', CA'', CA' sono sensibilmente uguali. Dunque nell'ultima proporzione si può fare CA'=CA''', ed inoltre sen CSA' = sen A'SZ perchè i due angoli sono l'uno supplemento dell'altro; si ha così:

$$CA''' : CS = \text{sen } A'SZ : \text{sen } CA'S \quad (b)$$

Dalle due (*a*) (*b*) che hanno il primo rapporto eguale si ricava:

$$1 : \text{sen } CA'''S = \text{sen } A'SZ : \text{sen } CA'S, \text{ e quindi}$$

$$\text{sen } CA'''S : \text{sen } CA'S = 1 : \text{sen } A'SZ \quad (c)$$

che significa: il seno della parallasse orizzontale di un astro sta al seno della parallasse di quell'astro veduto ad una altezza determinata, come il raggio sta al seno della distanza che l'astro a tale altezza ha dallo zenit. Così è chiaro che la parallasse orizzontale dell'astro è maggiore di tutte le sue parallassi a diverse altezze, e che i seni delle parallassi a diverse altezze sono proporzionali ai seni delle corrispondenti distanze dell'astro dallo zenit.

(1) Per mezzo della proporzione (*c*).

(2) Dalla proporzione (*a*), fatto CS=1, si ha

$$CA''' = \frac{1}{\text{sen } CA'''S} \text{ raggi terrestri;}$$ cioè la distanza dell'astro espressa in raggi terrestri si ottiene dividendo l'unità per il seno della parallasse orizzontale.

(3) Siano i due astri A e B, fig. 150. Le loro parallassi orizzontali sono CAS, CBS, ovvero O*a*, O*b*. Dai triangoli rettangoli CSA, CSB si ha

$$CA = \frac{CS}{\text{sen } CAS}, \ CB = \frac{CS}{\text{sen } CBS},$$

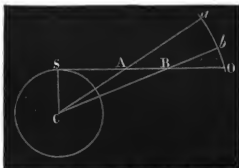



Fig. 150.

9.° Se la parallasse di un medesimo astro veduto alla stessa elevazione sull'orizzonte varia di grandezza col tempo, è segno che varia la distanza tra l'astro e la terra.

Ora è da vedere come si ottiene la misura d'una parallasse. Immaginiamo due osservatori sul medesimo meridiano terrestre a molta distanza l'uno dall'altro (l'uno in A e l'altro in B, fig. 151), i quali nello stesso momento drizzino la visuale al centro (S) del medesimo astro. Ciascun osservatore sa, per la

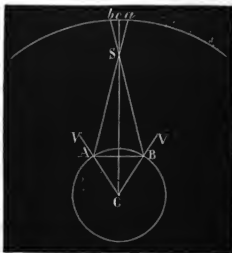



Fig. 151.

notizia che abbiamo delle dimensioni del globo e del sito dei luoghi, quale sia la direzione della retta (corda AB) che unisce le due stazioni, e può valutare l'angolo (ABS, BAS) che fa la sua visuale con questa retta. Conosciuti così tre elementi del triangolo (ABS) che ha per base la distanza delle due stazioni e per vertice il centro dell'astro, i quali elementi sono la base (AB) e gli angoli adjacenti, se ne deduce subito il valore degli altri elementi, cioè del terzo angolo (ASB) e dei lati (AS, BS) che lo comprendono. Se adesso vuolsi per ciascun osservatore

però CA : CB = sen CBS : sen CAS, e quando gli archi sono piccoli, come vedremo essere le parallassi, i seni si confondono con gli archi, ond'è CA : CB = O*b* : O*a*, vale a dire le distanze dei due astri sono in ragione inversa delle loro parallassi orizzontali; e per il rapporto costante (proporzione (*c*) suddetta) che v'è tra la parallasse orizzontale e quella di una altezza determinata, la proposizione è vera per le parallassi di due astri veduti ad una medesima altezza.

la parallasse dell'astro si immagina condotta la retta (SC) dal centro dell'astro al centro della terra, onde si ha per ciascun osservatore un triangolo (ASC, BSC), i cui lati sono questa retta, la visuale e quel raggio della terra che corrisponde alla stazione. In tale nuovo triangolo son noti gli ultimi due lati e l'angolo compreso, però si trova subito l'angolo che tiene il vertice nell'astro, che è appunto la parallasse che corrisponde all'altezza dell'astro (1).

Se le due osservazioni non sono appuntino contemporanee si riduce l'una allo stesso momento dell'altra dietro la cognizione del moto dell'astro nell'intervallo decorso tra le osservazioni.

Dalla parallasse trovata si può dedurre la parallasse orizzontale che esprime la grandezza apparente del raggio terrestre veduto dall'astro, la quale grandezza serve a computare la distanza dell'astro dalla terra.

A trovare la parallasse di un astro non è sempre duopo di due osservatori; v'ha dei metodi che un solo osservatore basta; p. e. questo: fissare il vero luogo dell'astro quando è allo zenit dove la parallasse è nulla, poi osservare il luogo dell'astro quando è all'orizzonte dove la parallasse è massima; la differenza dei due luoghi è la parallasse orizzontale. Da questa si può dedurre la parallasse ad una certa altezza dell'astro sull'orizzonte.

Il luogo vero dell'astro è più alto del luogo apparente di quanto è il valore della parallasse trovata.

La notizia della parallasse ci abilita dunque: 1.° ad assegnare il luogo vero dell'astro da qualunque sito si osservi sulla faccia del globo, e raccogliere così sotto un unico punto di vista le osservazioni fatte in siti diversi, 2.° a conoscere la distanza dei corpi celesti dal centro del nostro globo.

(1) In ciascuno dei due luoghi A, B (fig. 151) si misuri l'angolo che fa la visuale diretta all'astro con la verticale del luogo; noti così i due angoli VAS, VBS, sono pur noti i loro supplementi SAC, SBC; inoltre è noto l'angolo ACB misurato dall'arco AB di meridiano terrestre interposto alle due stazioni, ed anche son noti i valori di AC, BC raggi della terra corrispondenti alle due stazioni. Se ora si immagina condotta la AB, il triangolo ABC, di cui si conoscono due lati AC, BC e l'angolo compreso ACB, si può risolvere, onde si ha il valore dei due angoli CAB, CBA e della lunghezza AB. Sottratto dall'angolo SAC l'angolo CAB, e dal SBC l'angolo ABC, si ha nei residui la misura degli SAB ed SBA. Perciò nel triangolo SAB si conosce il lato AB e gli angoli adjacenti, e si possono quindi valutare il terzo angolo ASB, e gli altri due lati AS, BS.

Immaginata finalmente la SC, si risolve il triangolo ASC, dove son noti AC, AS e l'angolo compreso, e si trova la parallasse ASC e la distanza SC. Similmente l'osservatore in B, risolvendo il triangolo BSC, trova la parallasse BSC e la medesima distanza SC.

260. *Grandezze apparenti degli astri. Grandezze reali. Relazione tra le grandezze apparenti di un astro e le sue distanze dalla terra.* La grandezza apparente di un astro, cioè la grandezza angolare del suo diametro si misura come si misura in generale un arco nella volta celeste, e per l'esattezza si adopera un cannocchiale meridiano che contenga nel mezzo del suo campo un filo verticale sottilissimo o di ragno o di platino preparato col metodo di Wollaston (§ 23). Il tempo che l'astro osservato col cannocchiale impiega nel moto uniforme della sfera celeste ad attraversare il filo serve a dare la grandezza angolare del diametro dell'astro, secondo la norma che ad ogni ora passa al meridiano un arco di 15°, o ad ogni minuto di tempo un arco di 15′.

Nota la distanza di un astro dalla terra e nota la sua grandezza apparente, si ottiene con facile computo la sua grandezza reale [1].

Le grandezze apparenti di un astro sono in ragione inversa delle sue distanze dalla terra [2]. Il mutare di grandezza appa-

(1) Sia AB (fig. 152) il diametro dell'astro, ed ACB la nota sua grandezza

Fig. 152.

apparente alla nota distanza BC. Il triangolo CBA supposto rettangolo in B dà: $AB : BC = \text{sen } ACB : \cos ACB$, da cui $AB = BC \text{ tang } ACB$. Così è trovata la grandezza reale del diametro dell'astro. Ritenuto che l'astro sia un corpo sferico, si trova presto la misura della sua superficie e del suo volume.

Fig. 153.

(2) La retta AB (fig. 153) rappresenti il diametro di un astro; sarà ACB la sua grandezza apparente in C. Se il medesimo astro fosse in *ab*, la sua grandezza apparente in C sarebbe *a*C*b*. Supposto che i due triangoli BAC, *ba*C siano rettangoli in A ed *a*, si descrivano dai loro vertici A,*a* con raggio AB gli archi di circolo AD, *ad*. La AC è la tangente dell'angolo ABC, e la *a*C quella dell'angolo *ab*C, e per essere gli angoli ABC, *ab*C i complementi rispettivi degli angoli ACB, *a*CB, è pure AC la cotangente dell'angolo ACB, ed *a*C la cotangente dell'angolo *a*C*b*, vale a dire $AC : aC = \cot ACB : \cot aCb$. Ma le cotangenti di due angoli sono in ragione reciproca delle tangenti dei medesimi, onde $AC : aC = \text{tang } aCb : \text{tang } ACB$. Negli angoli piccoli, come son quelli che misurano le grandezze apparenti degli astri, le tangenti si confondono con gli archi e però sono proporzionali agli angoli stessi, dunque si ha: $AC : aC = aCb : ACB$, che esprime la proposizione del testo.

rente è prova che la distanza muta, e se una volta siasi misurata con precisione la grandezza apparente di un astro ad una distanza nota dalla terra, si può dedurre le diverse distanze dell'astro dalle sue diverse grandezze apparenti.

Siccome la parallasse orizzontale di un astro è la grandezza del raggio terrestre veduto dall'astro, così i valori delle parallassi devono anch'essi riuscire inversamente proporzionali alle distanze degli astri.

Poichè tanto la parallasse di un astro quanto la grandezza apparente di esso variano in ragione inversa delle distanze, conviene che al variare delle distanze la parallasse e la grandezza apparente dell'astro mutino secondo una medesima ragione. Così dai cangiamenti dell'una si può argomentare ai cangiamenti dell'altra.

261. *Parallasse, distanza dalla terra, grandezza apparente e grandezza reale della luna e del sole.*

Luna. La parallasse orizzontale della luna non è sempre la stessa, ma oscilla fra 53′ e 61′, il che prova che la distanza della luna dal centro della terra è variabile periodicamente.

La distanza media è 59, 964350, o prossimamente 60 raggi equatoriali terrestri (circa 384000 chilometri). Con la velocità delle strade ferrate da 100 leghe al giorno si percorrerebbe lo spazio che ci divide dalla luna in meno di 60 mesi (chè in meno di mezzo mese si percorrerebbe il raggio terrestre: § 254), è quanto dire in meno di 2 anni e mezzo. Basterebbe 5 anni, o poco più, ad andare fino alla luna, fare il giro del suo globo e tornare a casa.

La grandezza apparente del diametro della luna è variabile anch'essa, come deve, con le distanze; il suo valore medio è 31′, 7″.

Con la parallasse e la grandezza apparente del diametro della luna si valuta la grandezza reale di esso (§ 260). Questa si trova di chilometri 3350, cioè di circa 273 millesime parti del diametro medio della terra. Supposto che la luna sia sferica, la circonferenza di un suo circolo massimo è 273 millesime parti della circonferenza descritta col raggio medio della terra. La superficie lunare sta alla terrestre come

$$(0,273)^2 : 1^2 = 0,074521 : 1 = 1 : 13,4;$$

e il volume della luna a quello della terra come

$$(0,273)^3 : 1^3 = 0,0203464 : 1 = 1 : 49,14.$$

La terra ha dunque il volume di quasi 50 lune.

Siccome il diametro della terra sta a quel della luna come

1 : 0,273, così anche la grandezza angolare della terra veduta dalla luna sta a quella della luna veduta da qui come 1 : 0,273. L'ampiezza poi del disco terrestre per chi stesse nella luna a guardarlo sta all'ampiezza del disco lunare veduto da noi come $1^2 : (0,273)^2 = 13,4 : 1$.

Un abitante della luna vedrebbe la nostra terra come un disco più di 13 tanti di quello che pare la luna a noi.

Sole. La parallasse orizzontale equatoriale del sole varia tra brevissimi limiti: è in misura media di 8″,5776.

Ne viene che la distanza media del sole dalla terra è 24046,9 raggi dell'equatore terrestre, cioè 82667200 miglia di 60 al grado, o più che 152 milioni di chilometri. Per andare dalla terra al sole con la velocità suddetta di 100 leghe al giorno ci vorrebbe più di 24000 mezzi mesi o più di 1000 anni. Chi fosse partito al principio dell'Era cristiana sarebbe ancora sulla via del ritorno.

La grandezza apparente del diametro del sole nella sua media distanza dalla terra è 32′,1″,8.

Da questo che il sole, pur così lontano da noi, ci pare tanto grande quanto la luna e più, si capisce bene che la grandezza reale del sole dev' essere molta. La grandezza vera del diametro del sole è 112,024 diametri terrestri equatoriali: il globo del sole fa in volume 1405845 delle nostre terre. A formare una qualche immagine di tanta mole si noti che la distanza dalla terra alla luna è circa una quarta parte del diametro del sole. Se il centro del sole fosse qui nel centro del nostro globo, il sole involgerebbe nel suo volume la luna e si estenderebbe al di là di questa ancora tanto quanto è la distanza della luna dalla terra.

262. ***Distanza delle stelle dalla terra. Parallasse annua. Grandezza delle stelle.*** Le stelle fisse chi le guarda al telescopio non le vede mai ingrandite per quanto forte sia lo strumento; le vede sempre come punti indivisibili, mentre la luna, il sole e quegli astri che diconsi pianeti presentano alla vista un disco la cui grandezza cresce con la forza dei telescopi. Questa differenza prova già che la distanza delle stelle da noi è maggiore che della luna, del sole, dei pianeti. Gli astronomi distinguono bensì le stelle di *prima, seconda, terza... grandezza,* e così via sino alla *sedicesima grandezza* e più, ma è da avvertire che la distinzione si fonda non sulla differenza di grandezza apparente (chè le stelle per noi, essendo tutte come punti, son tutte grandi egualmente, o dirò meglio tutte senza grandezza) ma si fonda sulla differenza dello splendore onde sono più o meno appariscenti.

Le stelle al di sopra della sesta grandezza non riescono visibili ad occhio nudo, però si dicono *telescopiche;* quelle di dodicesima grandezza si può discernerle solo con forti strumenti.

La distanza delle stelle fisse da noi è immensa. Invano si cerca una parallasse delle stelle fisse prendendo a base del triangolo il raggio o anche il diametro della terra; le visuali dirette ad una stella fissa da due punti alla massima distanza possibile sulla superficie terrestre tornano sempre parallele tra loro, e ciò significa che il raggio, il diametro del nostro globo sono un nulla in confronto della distanza delle stelle fisse da noi. Poichè dodici milioni di metri sono un nulla rispetto alla distanza delle stelle; a quale termine di confronto potremo noi appigliarci per misurarla? ad uno che è 24000 volte maggiore e conta ben 300 milioni di chilometri. Vedremo che la terra (T, fig. 154) in un anno fa un giro intorno al

Fig. 154.

sole (S) descrivendo una periferia press'a poco circolare, il cui diametro è il doppio della distanza sua dal sole. Ora, quando si osserva una medesima stella (A) successivamente dalle due estremità di questo diametro coll'intervallo di circa mezzo anno, le due visuali (TA,T'A) riescono ancora sensibilmente parallele, cioè concorrono nell'astro, formando tra loro un angolo (TAT') sì piccolo che i nostri strumenti, pur tanto squisiti, non valgono a riconoscerlo per il maggior numero delle stelle: eppure se tale angolo fosse anche solo di un minuto secondo, la distanza della stella sarebbe 206000 volte il diametro suddetto (§ 259). Ma poichè l'angolo non riesce sensibile, bisogna dire che la distanza è sì grande, che stando in una stella fissa a guardare questo nostro luogo, si vedrebbe sotto un angolo visuale quasi nullo una estensione di 300 milioni di chilometri; la terra, la luna, il sole, presi tutti insieme e così tra loro distanti come si trovano, non sarebbero all'occhio se non un punto nello spazio.

La metà dell'angolo (TAT') compreso dalle due visuali dirette alla medesima stella dagli estremi di un diametro dell'orbita terrestre, cioè l'angolo (TAS) che misura la grandezza apparente del raggio di quest'orbita, o della distanza tra la terra e il sole, per chi fosse nella stella ad osservare, si dice la *grande parallasse* della stella, per distinguerla dall'altra parallasse minore, che è la grandezza apparente del raggio della terra; la grande si dice anche parallasse *annua,* e l'altra si dice parallasse *diurna,* perchè quella si osserva nel corso di un anno, questa nel corso di un giorno.

Bradley, Herschel, Piazzi, Calandrelli e più altri posero molta diligenza per misurare la parallasse annua di varie stelle, ma indarno. Solo da poco, perfezionati gli strumenti ed i metodi di osservazione, si potè conseguire alcuna misura di parallasse. Le stelle che danno migliore speranza di offrire una parallasse annua son quelle che a qualche segno mostrano di essere le meno lontane da noi. A questo proposito è da notare che l'appellativo di *fisse* dato alle stelle non è già in senso assoluto; le stelle chiamate fisse hanno pure i lor movimenti, diversi dall'una all'altra; ve n'ha che si traslocano di alcuni secondi all'anno in sulla volta celeste; quelle in cui tale movimento riesce più sensibile sono, giusta probabilità, le meno distanti dalla terra.

Bessel a Königsberg si applicò a cercare la parallasse di una stella (61 del Cigno) che ha un moto proprio annuale di più che 5'', moto ben grande per una stella fissa. Egli tenne un metodo già accennato da Galileo [1] e proposto poi da W. Herschel, che fu di osservare le variazioni annue della distanza della stella da due minutissime stelle ad essa molto vicine in vista, le quali non palesano moto proprio e sono da aversi per distanti da noi immensamente dippiù che la stella di cui si tratta e prive di parallasse. Bessel nel 1838 dopo lunghe e pazienti osservazioni trovò la parallasse della stella =0'',3483 (con l'errore probabile =0'',0141) [2], alla quale corrisponde una distanza

(1) Ecco il passo notabile di Galileo. «Perchè io non credo che le stelle siano sparse in una sferica superficie egualmente tutte distanti da un centro, ma stimo che le loro lontananze da noi siano talmente varie, che alcune ve ne possano esser 2 e 3 volte più remote di alcune altre; talchè quando si trovasse col telescopio qualche picciolissima stella vicinissima ad alcuna delle maggiori, e che però quella fosse altissima, potrebbe accadere che qualche sensibil mutazione succedesse tra di loro...» *Dialogo dei massimi sistemi. Giornata terza. Opere di Galileo,* edizione dell'Alberi. Firenze 1842, vol. 1, pag. 415.

(2) Peters nel 1842 valutò questa parallasse a 0'',3490; più tardi, introducendo nel calcolo una piccola correzione relativa alle variazioni di tempe-

da noi uguale a 592200 volte quella dalla terra al sole. La luce con la sua velocità di 41549 miglia geografiche (30831 miriametri) al minuto secondo (1) impiega 9 ¹/₄ anni a percorrere questo intervallo.

Henderson al Capo di Buona Speranza, avendo riconosciuto che una stella di prima grandezza (la stella australe α del Centauro, composta di 2 vicine stelle di seconda grandezza) ha un moto proprio di circa 4″ all'anno, pensò ch'ella potesse offrire una parallasse sensibile. Questa parallasse fu determinata nel 1832 da osservazioni di Henderson e nel 1839 da osservazioni di Maclear; è prossimamente uguale per ambedue le stelle componenti, e fa 0″,9120 (errore probabile 0″,0640). Tale stella è la più vicina a noi di quante diedero fin qui una parallasse, è quasi tre volte più vicina che la stella suddetta di Bessel.

Henderson trovò pure la parallasse di un' altra stella (Sirio) = 0″,220.

Il consigliere Struve trovò per una quarta stella (Lira) 0″,2613.

Alcuni riputati astronomi coi potenti mezzi dell'osservatorio di Poulkova ricercarono in questi ultimi anni per diverse vie le parallassi di parecchie stelle: è molto soddisfacente l'accordo dei risultati ottenuti per ciascuna stella. Peters dopo molte osservazioni pensa di potere con qualche probabilità assegnare il valore medio delle parallassi delle stelle di ogni singola grandezza fino alle stelle telescopiche visibili nel grande telescopio di Herschel. La notizia della parallasse annua vale a calcolare la distanza delle stelle dal sole in raggi dell' orbita terrestre, ma questa unità è troppo piccola perchè sia dato alla nostra mente di scorgere i rapporti che vi sono tra i lunghi numeri con cui riescono espresse le distanze delle stelle; vuolsi a tal uopo una unità di ben maggiore grandezza, p. e. lo spazio corso dalla luce in un anno. Ecco un quadro delle distanze delle stelle estratto da quello di Peters (2).

ratura, ebbe 0″,3744 che dà ancora la distanza di 550900 volte quella del sole e percorsa dalla luce in anni 8 ⁷/₁₀.

(1) La velocità qui notata, un po' minore di quella al § 143, è desunta dalla grande serie di osservazioni recenti di Struve a Poulkova sull'aberrazione delle stelle fisse. Il tempo che la luce con tale velocità impiega a passare dal sole alla terra è 8′,17″,78.

(2) Ho preso questa ed altre notizie dalle note al Discorso del commendatore Giovanni Santini *Sul progresso degli studii astronomici negli ultimi tempi (Atti della adunanza tenuta dall'I. R. Istituto Veneto nel giorno* 30 *maggio* 1853). L' illustre astronomo nostro seppe fare insieme un bel discorso accademico e un' opera molto utile. Le note sono una messe preziosissima di dottrina positiva, una serie di giusti quadri che ci rappresentano lo stato odierno delle nostre cognizioni nelle diverse parti della scienza astronomica.

Grandezza delle stelle.	Parallasse annua.	Distanza in raggi dell'orbita terr.e	Tempo impiegato dalla luce a venirne alla terra in anni.
1	0″, 209	986,000	15,5
2	0, 116	1,778,000	28,0
3	0, 076	2,725,000	43,0
4	0, 054	3,850,000	60,7
5	0, 037	5,378,000	84,8
6	0, 027	7,616,000	120,1
Telescopiche	0,00092	224,500,000	3541,0

A fare il computo della grandezza reale delle stelle, di cui è nota la parallasse annua, bisognerebbe che tali stelle avessero al nostro sguardo una qualche grandezza misurabile. Ma i telescopi più potenti non valgono a darci questo elemento necessario al calcolo. Le stelle anche di prima grandezza non sono che punti per noi; e ciò è manifesto pur per l'osservazione che quando una stella di prima grandezza si occulta dietro la luna, scompare d'un tratto senza indizio di graduale diminuzione di grandezza o di splendore. Il nostro sole, che alla sua distanza da noi ha la grandezza di più che 32′, se fosse trasportato ad una distanza 206265 volte maggiore, cioè fosse trasportato dov'è la stella di prima grandezza più vicina, di cui Henderson trovò la parallasse (α del Centauro) non avrebbe per noi che la grandezza di 0″,009323, sì piccola da non poterla stimare a nessun micrometro; eppure il sole vi avrebbe l'aspetto di una stella abbastanza splendente per essere veduta ad occhio nudo, giacchè si computa con qualche probabilità che lo splendore del sole a tanta distanza sarebbe circa $^2/_3$ di quello della stella suddetta.

Da queste relazioni generali di moti, di distanze, di grandezze fra gli astri passiamo a vedere parte a parte i diversi fenomeni dati dalle varie sorta di astri nella sfera celeste. Cominciamo dalle stelle fisse che formano il fondo del quadro.

263. *Aspetto delle stelle fisse. Scintillazione.* Le stelle fisse, oltre che serbano sensibilmente invariata la mutua loro disposizione, e che per la immensa distanza da noi, anche vedute coi telescopi, non sono allo sguardo che punti, si distinguono subito ad occhio nudo dai pianeti per un altro indizio, la *scin-*

tillazione. Così chiamasi quell'agitarsi e variare continuo della luce di un astro che pare si estingua e si ravvivi e si rinforzi ad ogni momento, e muti colore. I pianeti d'ordinario mandano luce tranquilla mentre le stelle fisse scintillano, e tanto meglio quanto più sono basse verso l'orizzonte. V'è molta differenza però nel grado di scintillazione delle varie stelle, e pare che ciò dipenda non solo dalla elevazione delle stelle e dalla forza dello splendore, ma anche dalla natura speciale di loro luce. Nelle notti serene dei paesi temperati la scintillazione aggiunge molto alla magnificenza ed alla vivezza del cielo stellato, giacchè, rinforzando tratto tratto la luce delle stelle dalla sesta alla settima grandezza, ce le fa balenare all'occhio nudo anch'esse, onde il cielo ci sembra più ricco.

La scintillazione pur tanto sensibile delle stelle è un fenomeno ancora più pronunciato che non apparisca. La durata delle impressioni sull'occhio fa sì che lo svanire momentaneo d'un astro, i rapidi mutamenti di colore, tutte le varie fasi celeri a succedersi della scintillazione non vengono percepite distintamente. Ma chi guardi con un cannocchiale può, giovandosi della permanenza medesima delle impressioni, rendere discernibili queste successive fasi, e averle schierate lì d'innanzi simultaneamente a paragonarle meglio tra loro. Basta dare al cannocchiale un veloce moto rotatario, o rettilineo di va e vieni, perchè si veda trasformata l'immagine della stella in una periferia o in una retta luminosa a colori diversi ne' diversi punti e qua e là interrotta. Le fasi riescono per tal movimento sceverate l'una dall'altra, mentre a sguardo immoto si succedono nel medesimo punto e si compongono insieme, onde l'occhio vede una sola immagine che è la risultante di quelle varie luci e di tutti quei colori.

Nei paesi fra i tropici la scintillazione è debolissima, e d'ordinario manca del tutto nelle stelle alte sull'orizzonte più di 12° o 15.° Humboldt si compiace spesso di ricordare il sentimento di calma solenne e di dolcezza che lo comprese allo spettacolo di quel cielo purissimo dove la scintillazione tace ed ogni astro versa quieta e continua la sua luce.

Se le medesime stelle si vedono scintillare diversamente alle loro diverse altezze, e più da un luogo della terra che da un altro, ed anche non scintillare, è segno che il fenomeno non è proprio degli astri, ma nasce da modificazioni che la luce riceve negli strati dell'atmosfera per i cangiamenti di densità, di umidità, di temperatura che vi si fanno e per le correnti

aeree che ne derivano. Quali poi siano codeste modificazioni della luce non è ancora ben definito. Crede taluno che elle siano gli ordinarii effetti della rifrazione che svia o raccoglie i raggi e li decompone. Arago propose una sua veduta felicissima che le fa dipendere da una capitale affezione della luce che noi diremo in seguito. Intanto molte circostanze attestano che il fenomeno ha l'origine nell'atmosfera. Così fra i tropici la scintillazione è poca o nulla perchè in quell'aria tranquilla il vapor acqueo si trova distribuito equabilmente e non patisce mutazioni repentine. In ogni paese quando l'aria è molto umida la scintillazione si fa più viva ed è presagio di pioggia; anche fra i tropici la stagione delle pioggie periodiche viene annunziata parecchi giorni innanzi da uno scintillare di stelle più alte.

La scintillazione, sì vivace nelle stelle, è languida nei pianeti o manca del tutto, perchè una stella non è che un punto luminoso per noi, ma un pianeta è un disco di certa grandezza. Ogni singolo punto del disco scintilla certo al pari di stella, ma lo svanire di un punto è inavvertito dall'occhio per la luce presente degli altri punti vicini, e i colori variabili di tutti i punti si compongono insieme di continuo in una tinta bianca. Solo di tratto in tratto, accadendo che le scintillazioni di moltissimi punti concordino nelle fasi, apparirà scintillante il disco, e il fenomeno tornerà meno raro se il disco sarà più piccolo. Diffatti tra i pianeti quelli che hanno diametro apparente più piccolo offrono segni meglio visibili di scintillazione. L'immagine del sole ridotta da uno specchio convesso a non più che un punto simile alle stelle fisse, quando guardisi da lontano con molt'aria di mezzo, scintilla.

264. *Numero e distribuzione delle stelle. Costellazioni.* Le stelle che si vedono bene distinte ad occhio nudo, le quali sono, come si disse, le stelle delle prime sei grandezze, sommano in tutto a 5000 o a 5800. Il numero delle stelle di ciascun ordine di grandezza cresce rapidamente dal primo ordine ai successivi, come dimostra la serie seguente data da Argelander, direttore dell'osservatorio di Bonn (1):

(1) Humboldt. *Cosmos:* parte terza.

1.ª grandezza	20	stelle
2.ª »	65	»
3.ª »	190	»
4.ª »	425	»
5.ª »	1100	»
6.ª »	3200	»
7.ª «	13000	»
8.ª »	40000	»
9.ª »	142000	»

Il numero delle stelle visibili coi telescopi in tutto il cielo non si può assegnare; esso cresce con la forza degli strumenti; più si vede lontano e più e più sono le stelle che si scorgono, e indarno si cerca i confini del firmamento. Secondo Struve il telescopio (di 20 piedi) di W. Herschel dà a vedere 5800000 stelle nella zona che si estende dai 15° di declinazione australe fino ai 15° di declinazione boreale, e ne dà a vedere 20000000 in tutto il cielo. W. Herschel con un telescopio ancora più potente (di 40 piedi) recava a 18000000 il numero delle stelle contenute nella sola striscia bianca che diciamo Via Lattea.

In questa miriade di astri disseminati nei cieli variamente lo sguardo ama di ravvisarne come associati tra loro alcuni che in apparenza sono vicini, e disegnano quasi con la mutua disposizione una qualche nota figura. Ecco le *costellazioni* o sistemi di stelle che, per ajuto alla memoria e per una più particolare designazione, si immaginò che rappresentino diverse forme d'uomini, di animali, di istrumenti, poche volte però somiglianti alle forme delle costellazioni. La nostra immaginazione è così proclive a raffigurare più stelle come unite in sistema, che l'idea di costellazione risale alla più remota antichità, ed è famigliare anche alle tribù selvaggie attuali. Se ne parla nel Libro di Giob; Esiodo accenna alle Plejadi, all'Orsa maggiore; Omero designa l'Orsa maggiore così: il carro che non si bagna nell'oceano.

Le stelle di una medesima costellazione si distinguono, dietro l'esempio dato da Bayer nel 1603, mediante le lettere progressive dell'alfabeto greco, applicate ad esse talvolta nell'ordine dello splendore talvolta nell'ordine della disposizione; esaurito l'alfabeto greco, si continua con l'alfabeto latino, e dopo con la serie dei numeri naturali. Alcune stelle che si trovano in qualche sito ben individuato nella figura immaginata a rappresentare la costellazione ricevono anche de' nomi speciali rela-

tivi al loro sito (p. e. occhio del Toro, cuore dello Scorpione); altre serbano pure de' nomi particolari imposti dagli Antichi o dagli Arabi (p. e. Arturo, Sirio, Wega, Aldebaran, Altair).

Non dimentichiamo che questo considerare più stelle come le parti di un tutto, costellazione, è un atto nostro che ajuta la facoltà rappresentativa, ma non ha alcuna attinenza con la realtà: due stelle che vediamo vicinissime l'una all'altra distano forse tra loro più che non disti una di esse da noi, ed anche per quel verso che va la nostra vista in passare dall'una all'altra sono distanti milioni di milioni di leghe; nè ci vuol meno perchè noi le possiamo vedere distinte.

Lo spettacolo della volta stellata cangia e si rinnovella con le stagioni. Alcune stelle sono visibili ogni notte dell'anno, altre si celano e ricompajono a stagione fissa, come se la sfera celeste affretti ogni giorno d'un poco il suo giro diurno per mostrarci nelle diverse notti dell'anno più gran parte delle sue bellezze eterne.

Le due figure seguenti mostrano le stelle principali di prima e di seconda grandezza nelle loro posizioni rispettive in certi giorni ed ore notati a piedi. La spiegazione di ciascuna figura dice il nome delle stelle principali od almeno delle costellazioni a cui esse appartengono. Il circolo rappresenta l'orizzonte; il centro del circolo è il punto del cielo a cui batte la nostra verticale, è il zenit; la curva a punti rappresenta l'equatore celeste.

Stella di 1.ª grandezza.

Stella di 2.ª grandezza.

Stella di grandezza minore.

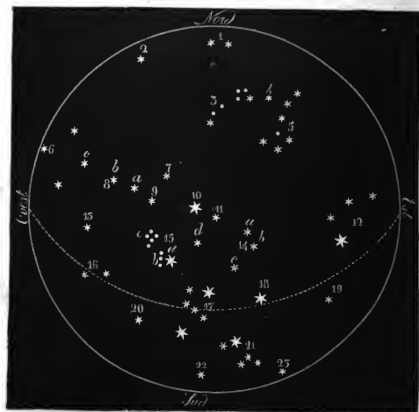



Fig. 155.

2	gennajo	alle ore	10 ½	pomeridiane
14	»	»	9 ½	»
25	»	»	8 ½	»
5	febbrajo	»	8 —	»
16	»	»	7 —	»
28	»	»	6 ½	»

Spiegazione della figura 155.

1. *La testa del Dragone.*
2. *La coda del Cigno.*
3. *L'Orsa minore.* La più alta delle 7 stelle che la compongono si dice *stella polare* perchè è vicinissima al polo nord.
4. *La coda del Dragone.*
5. *L'Orsa maggiore* detta anche *il Carro.*
6. *Il quadrato di Pegaso.*
7. *Perseo.*
8. *Andromeda: a il piede sinistro, b la cintura, c la testa.*
9. *La testa di Medusa.*
10. *La Capra Amaltea,* stella che fa parte della costellazione *Auriga.*
11. Altra stella dell'*Auriga* o *Cocchiere.*
12. *Il Leone.* La più bella delle quattro si chiama *Regolo* o *cuor del Leone.*
13. *La testa dell'Ariete.*
14. *I Gemelli; a testa di Castore, b testa di Polluce, c piè di Polluce.*
15. *Il Toro: a occhio del Toro,* detta anche *Aldebaran, b le Jadi, c le Plejadi,* volgarmente *la Ciocchetta, d corno del Toro.*
16. *La Balena.*
17. *Orione.* Le due stelle più alte sono *le spalle,* la più bassa *il piede,* le altre tre *la cintura,* detta volgarmente *il rastrello, la falce,* o i *tre re.*
18. *Procione* o *il Cane minore.*
19. *Il cuore dell'Idra.*
20. Stella d'una costellazione denominata *il Po.*
21. *La Canicola* o *Cane maggiore.* Una delle cinque stelle della Canicola è la più bella che vediamo nel cielo e si chiama *Sirio.*
22. La stella più lucida d'una costellazione che si chiama la *colomba di Noè.*
23. Stella d'una costellazione che si chiama *la nave degli Argonauti.*

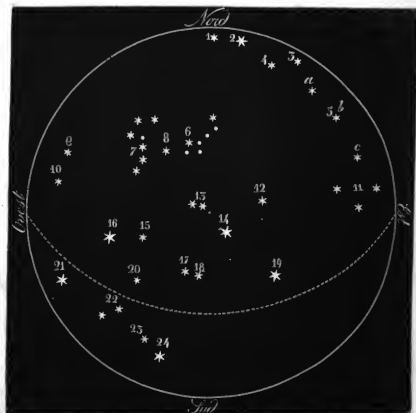



Fig. 156.

13 giugno	a mezzanotte		
27 »	alle ore	11	pomeridiane
14 luglio	»	10	»
4 agosto	»	9	»

Spiegazione della figura 156.

1. Una stella dell'*Auriga* o *Cocchiere*.
2. *La Capra Amaltea.*
3. *La testa di Medusa.*
4. *Perseo.*
5. *Andromeda: a il piede sinistro, b la cintura, c la testa.*
6. *L'Orsa minore.* La più bassa delle 7 stelle è la *polare*.
7. *L'Orsa maggiore* o *il Carro.*
8. *La coda del Dragone.*
9. *La groppa del Leone.*
10. *La coda del Leone.*
11. *Il quadrato di Pegaso.* Concorre a formarlo la *testa* e *di Andromeda.*
12. *La coda del Cigno.*
13. *La testa del Dragone.*
14. *La Lira.*
15. *La Corona.*
16. *Arturo,* la stella più splendida della costellazione di *Boote.*
17. *La testa di Ercole.*
18. *La testa di Orfiuco.*
19. *L'Aquila.*
20. *Il cuor del Serpente.*
21. *La spica della Vergine.* La Vergine, simbolo della costellazione, si dipinge con una spica in mano.
22. *I due gusci della Libra.*
23. *La testa dello Scorpione.*
24. *Il cuore dello Scorpione.*

Le stelle, come si vedono nelle due figure, si può riconoscerle non solo nei giorni indicati ma anche negli altri giorni intermedii a due di essi, purchè si faccia l'osservazione in ore similmente intermedie alle indicate.

La stella polare si trova presto così. Si immagini la retta che unisce le due stelle posteriori (due guardie) del Carro (Orsa maggiore), costellazione che tutti subito riconoscono, e la si prolunghi dalla parte a cui il curvo timone del Carro volge la convessità; il prolungamento va diritto alla polare. Questa stella è distante dal polo nord di solo 1°,25'; essa nel moto diurno della sfera celeste descrive dunque un circolo di raggio piccolissimo e può guardarsi come un punto immobile, come un faro piantato nel polo. La polare è l'estremità del timone di un altro carro simile al suddetto bensì più piccolo e disposto quasi parallelo ma inversamente ad esso, il quale carro più piccolo è l'Orsa minore. La polare nella figura 155 si trova essere la stella più alta della costellazione, e nella figura 156 viene ad essere la più bassa verso l'orizzonte.

Nei giorni e nelle ore appiedi della figura 155, o nei tempi intermedii, si vede vicinissima allo zenit una delle stelle più brillanti del cielo, che è la più bella dell'Auriga e si chiama la Capra (n. 10 della fig. 155). Se da questa si discende con lo sguardo un poco verso l'orizzonte dalla parte di sud, si trova a sinistra la costellazione i Gemelli (n. 14), a destra la costellazione il Toro (n. 15). Abbassando lo sguardo ancora si vede Orione (n. 17); più basso a sinistra la Canicola (n. 21) a cui appartiene Sirio che è la stella più luminosa del firmamento. La luce di Sirio, quando si osserva col grande telescopio di Lord Rosse (distanza focale 53 piedi inglesi, diametro 6 piedi) è così abbagliante che l'occhio senza schermo non la sostiene.

Gli Antichi contavano 48 costellazioni, noi oggidì ne contiamo 108.

265. *Colori delle stelle*. Gli Antichi distinguevano le stelle solo in bianche e in rossiccie; ora coi telescopi vediamo che i colori delle diverse stelle sono assai svariati, e che ve n'ha di ogni gradazione. Il maggior numero delle stelle però sono bianche; la polare è giallognola; I. Herschel ne vide tra la 7.ª e la 9.ª grandezza di rosse come rubini, di vermiglie come goccie di sangue. Pare che col tempo alcune stelle mutino colore. Cicerone, Seneca, Tolomeo parlano di Sirio come d'una stella rossastra; al giorno d'oggi la luce di Sirio è bianca s'altra mai.

266. *Stelle multiple.* Certe stelle che ad occhio sembrano semplici si vede coi cannocchiali che sono costituite ciascuna di due, di tre o di più; esse diconsi *doppie, triple,* in generale *multiple.*

Due o più stelle possono parere vicine l'una all'altra perchè si trovino su direzioni visuali vicine, ma essere in realtà disgiunte per intervalli grandissimi, o possono veramente trovarsi vicine tra loro ed anzi avere mutue relazioni e formare insieme un sistema. Nel primo caso dicesi che sono doppie o multiple *otticamente,* nel secondo *fisicamente.* I segni a cui si conosce che vi è unione fisica tra due o più stelle sono il girare dell'una intorno all'altra o l'avere tutte un moto di traslazione comune.

Già alcuni filosofi, tra cui Lambert e Michell, credevano per argomenti teoretici nella esistenza di sistemi di stelle le quali girino l'una intorno all'altra, quando Cristiano Mayer fece nel 1778 le prime osservazioni di questi sistemi; di lì a poco vennero le rivelazioni di W. Herschel che proseguì lo studio delle stelle doppie per più che 25 anni. Herschel figlio, Sout, Struve ed altri recarono il numero di queste a più che 6000, e Struve le classificò anche in otto serie in ragione della distanza che pare fra le componenti. Ma delle 6000 quante sono doppie per modo fisico? W. Herschel fin dal 1784, osservandone di continuo ben più che 500, avvertì che in certe coppie una stella muta la posizione sua rispetto all'altra, e si accertò che la più piccola gira in orbita regolare intorno alla grande (propriamente girano entrambe intorno al centro comune di gravità); queste sono dunque doppie fisicamente. Secondo la recensione di Struve si contano già 50 stelle doppie, le cui componenti hanno cangiato di posizione relativa. La stella di mezzo del timone del Carro (Orsa maggiore) è doppia, e l'una del sistema fa un giro intorno all'altra in 58 anni e $^1/_4$. Questa stella girante ed altre, avendo già compiuto il giro intero dal tempo che si cominciò ad osservare il fenomeno, non lasciano alcun dubbio in quanto alla realtà della loro unione fisica con la compagna. Le orbite delle stelle doppie intorno al loro centro comune di gravità sono elissi molto allungate.

Parecchie stelle fisicamente doppie sono colorate. In certe coppie i colori delle due stelle sono complementari, e in queste la stella maggiore è le più volte rossa o rancia e la minore verde o turchina. Col volgere degli anni i colori di alcune stelle doppie si mutano: Struve osserva che certune di tali stelle già designate da Herschel come bianche, sono adesso tinte in oro

o in rosso. Forse questi colori e queste mutazioni sono in parte o in tutto non reali ma solo apparenti, sia per effetto di una proprietà del nostro organo visivo per cui in presenza di una stella colorata assai lucida, un' altra stella bianca di luce rimessa pare d' un colore complementario di quel della prima, sia per effetto di una composizione dei movimenti della luce e dei movimenti proprii delle stelle, come diremo più innanzi.

267. *Stelle temporanee. Stelle variabili o periodiche.* Secondo Plinio la comparsa di una stella nuova, 134 anni innanzi l'Era Volgare, mosse Ipparco a redigere il primo catalogo delle stelle, perchè fosse dato verificare in seguito se altre stelle apparissero od alcuna delle visibili non andasse perduta. Gli annali delle osservazioni dimostrano che vi ebbe di tali cangiamenti. Dall'anno 134 innanzi l'Era Volgare al 1848 si contano ben 21 stelle nuove che brillarono solo per qualche tempo, onde si dicono *temporanee.* Ecco un cenno di qualcheduna.

Nel 1572 comparve a un tratto (in Cassiopea) una stella così luminosa e scintillante che era visibile di pieno giorno anche attraverso a un velo di nubi; fu osservata attentamente da Ticone, non mutò luogo, mutò bensì colore e splendore, passò dal bianco al giallo, dal giallo-rosso al bianco-piombino e si ridusse in 12 mesi dalla prima grandezza alla settima; dopo brillato 16 mesi scomparve.

Il 10 ottobre 1604 Brunowski, allievo di Keplero, vide sfavillare subitamente un astro (presso il piede del Serpentario) che rifulse meglio d'una stella di prima grandezza con scintillazione colorata vivissima e dopo 16 mesi sparì.

Nel 20 giugno 1670 Anthelm osservò (nella testa della Volpe) una stella nuova di terza grandezza che in meno di due anni scomparve e ricomparve e mutò di grandezza e si estinse.

L'anno 1848 Hind notò (nel Serpentario) una stella nuova di quinta grandezza, rossastra; nel 1850 era già di undicesima grandezza; oggi non la si vede più.

È degno di osservazione che quasi tutte le stelle temporanee non comparvero crescendo a poco a poco di luce, ma si presentarono fin dal principio con grande splendore; ed è pur da notare che quasi tutte si videro o sui lembi o nell'interno di quella striscia luminosa che diciamo Via Lattea.

V' ha chi attribuisce le apparizioni di stelle temporanee ad incendii che divampino alcuni corpi celesti in prima oscuri.

Alcune stelle, già osservate un tempo e messe nei cataloghi, si cercano ora indarno. W. Herschel il 10 ottobre 1781 vide

una certa stella già registrata (la 55.ª di Ercole, sul collo della figura, inserita nel catalogo di Flamsteed come una stella di quinta grandezza), e notò che era rossa; l'11 aprile 1782, osservandola di nuovo, la registrò nel suo giornale come una stella ordinaria; il 24 maggio 1791 si accorse che non vi era più; essa non è ricomparsa ancora.

Certe stelle variano di splendore *periodicamente*, e tra queste alcune s'indeboliscono grado grado fino a diventare invisibili per qualche tempo. Il 13 agosto 1596 Davide Fabricio vide (sul collo della Balena) una stella di terza grandezza che si dileguò nell'ottobre dell'anno stesso. Nel 1603 Bayer, facendo il suo catalogo, pose una stella di quarta grandezza nel medesimo luogo donde era sparita quella di Fabricio. S'egli si fosse avvisato di ravvicinare la sua alla osservazione di Fabricio avrebbe toccata la gloria di scoprire le stelle periodiche, la quale fu invece conseguita dall'olandese Holwarda, che rivide la stella suddetta sul principio di dicembre 1638, e notò che verso la metà della state del 1639 era scomparsa e che ricomparve il 7 novembre 1639. Altri astronomi proseguirono poi per più anni le osservazioni di questa stella, e verificarono ch'ella scompare ad intervalli che W. Herschel stimò fossero lunghi 331 giorni, e che ora il chiarissimo nostro astronomo di Modena G. Bianchi stima siano di 336 giorni.

Dopo si ebbe a riconoscere altre stelle variabili con diverso periodo di 500, 400, 300 giorni ed anche assai meno. Il minimo periodo osservato è (in un astro di Perseo) di 68 ore e 49 minuti.

In parecchie costellazioni l'ordine delle stelle rispetto al grado dello splendore si è mutato.

Le stelle variabili sono rossastre il maggior numero; ve n'è pure di bianche, di giallognole: hanno grandezze diverse.

Argelander conta 24 stelle variabili, il cui periodo è noto abbastanza bene. Pare che per certe stelle il periodo della variazione non sia semplice, ma sia composto di due o più periodi diversi che corrono di conserva.

Alcuni opinano che le stelle temporanee non siano che stelle variabili a periodo lunghissimo.

Il primo pensiero che sorge circa la causa fisica della comparsa e delle mutazioni delle stelle temporanee e variabili è ch'esse abbiano un movimento proprio, per cui da altissime regioni si avvicinino alla terra e diventino visibili, e poi retrocedano e si allontanino, passando così dalla prima alle ultime

grandezze. Ma di leggieri si scorge che siffatta spiegazione non può essere accolta. Siccome tali stelle variano tutte di splendore serbando appuntino la medesima posizione rispetto agli astri fissi tra cui compariscono, così bisognerebbe supporre che il movimento si faccia per tutte nella direzione rettilinea delle nostre visuali ad esse, il che sarebbe una concordanza sommamente improbabile di casi. Inoltre come spiegare il subito apparire e il dileguarsi lento? La stella, qualunque siano le forze che la movono, deve pur correre una medesima serie di condizioni e quando si avvicina alla terra e quando se ne allontana; la venuta e il ritorno dovrebbero dunque farsi con eguali ordini di velocità, e quindi il periodo di tempo in cui lo splendore cresce e quello in cui vien meno dovrebbero essere uguali. V'è dippiù. Le variazioni rapide di luce non si riesce a spiegarle con le variazioni della distanza, quando pure si voglia attribuire alle stelle una velocità *infinitamente grande*. E invero: la stella p. e. del 1572, trovandosi al suo apparire nella regione delle stelle ordinarie, era distante dalla terra almeno di tanto spazio quanto vien percorso dalla luce in tre anni. Essa era di prima grandezza; per diventare di seconda, ossia ridursi ad avere al nostro occhio circa $^1/_4$ dello splendore, doveva trasferirsi ad una distanza doppia dalla terra, cioè percorrere, allontanandosi, tante leghe quante la luce percorre in tre anni. Se la velocità di traslazione della stella fosse stata pari alla velocità della luce, era dunque mestieri passassero sei anni almeno fra l'ultimo dì che la stella rifulse di massimo splendore e il primo dì che pervenne alla seconda grandezza; tre anni per il tragitto della stella dal luogo della prima grandezza al luogo della seconda, e tre altri anni per il tragitto della luce da questo secondo luogo al primo. Similmente a discendere dalla seconda grandezza alla terza era duopo di altri sei anni, e così via. Insomma, ritenuto che l'immensa mole della stella corresse di continuo con la velocità della luce, non ci voleva meno di 36 anni a mutare l'aspetto di prima grandezza in quello di settima. Ora la stella del 1572 fece questa mutazione in un anno! Diasi pure alla stella una velocità ancora più grande, non si arriverà mai a spiegare il fenomeno: una velocità *infinitamente grande*, per cui la stella varcasse immensi spazii in un attimo, non ridurrebbe il numero di anni calcolato di sopra che alla metà, poichè resterebbe pur sempre nel conto il tempo che vuolsi dalla luce per rifare il cammino della stella (1).

(1) *Arago. Annuaire du Bureau des longitudes pour l'an 1842, pag.* 325.

Circa la causa delle variazioni di splendore si proposero diverse altre congetture o che vi siano de'corpi opachi circolanti intorno alle stelle i quali ne intercidano a periodi i raggi di luce, o che le stelle medesime girino intorno a un loro diametro e portino alla superficie certe grandi macchie che voltano periodicamente a noi, o che le stelle abbiano forma sferoidica molto schiacciata, come di macina, e nei loro moti ora ci mostrino la faccia in maestà ed ora il fianco appena discernibile.

Le stelle temporanee, le variabili e quelle scomparse, essendo esempi di corpi che si accendono in luce, e mutano di splendore, e si estinguono senza dar segno di movimento progressivo fanno probabile l'opinione antica, ricevuta da Laplace, Bessel, Maedler, Humboldt, che nella immensità degli spazii, oltre gl'innumerevoli astri visibili perchè luminosi, vi siano a migliaja anche de' grandi corpi oscuri. Non v'è ragione di credere che i corpi celesti abbiano ad essere di necessità luminosi.

268. *Nebulose.* La volta del ciel sereno è sparsa di certe nubecole fisse che mandano luce pallida e dolce. Le une sono piccole in apparenza, di forma regolare rotonda, a limiti netti; le altre si stendono per larghi spazii con figure irregolari svariatissime. Ebbero nome di *nebulose.* La prima che siasi osservata con attenzione fu nel 1612 da Simon Marius (nebulosa di Andromeda). Huyghens nel 1656 ne scoperse una delle più ragguardevoli (della spada di Orione). Nel 1716 Halley non ne registrava più di sei. La-Caille nel 1750-2 ne rinveniva parecchie dell'emisfero australe. Oramai se ne contano sei migliaja, per opera principalmente dei due Herschel. La vista che le contempla armata di telescopio batte a regioni da cui la luce corre milioni di anni per giungere fino a noi. Halley, Derham, La-Caille, Kant, Lambert pensarono che siano ammassi di un fluido luminoso, ammassi di una materia cosmica; Galileo, Domenico Cassini, Michell opinarono che le nebulose tutte non siano che vaste congerie di minutissime stelle.

Il fatto è che molte nebulose osservate coi telescopii appariscono risolute in stelle distinte, però si dicono *risolubili* o *stellari;* altre hanno ancora l'aspetto d'una sostanza continua sparsa più o meno equabilmente per quegli spazi, e si dicono *diffuse.* Mano mano che cresce la potenza dei telescopii molte nebulose diffuse vengono risolute, ma in pari tempo si scoprono altre nebulose diffuse che saranno forse risolubili con mezzi più potenti. In questi ultimi anni il telescopio gigantesco di Lord Rosse ne risolvette parecchie.

Le nebulose di *forma regolare* si usa ripartirle in 4 classi giusta l'aspetto diverso.

1.° Le *nebulose sferoidali*, con intensità di luce che cresce dall'orlo verso il centro. Quanto più nella forma si rassomigliano a sfera, tanto più facilmente queste nebulose son risolubili; se hanno forma elissoidica molto allungata è assai difficile risolverle. Il maggior numero sono isolate, alcune sono disposte a coppia ma non si può decidere se la coppia sia fisica o solamente ottica.

Queste nebulose noi le vediamo quali cerchi o quali elissi, ma realmente sono globulari. Ne fa prova l'aumento d'intensità di luce che si osserva in tutte dal lembo al centro, appunto come dee apparire a chi guarda un ammasso globulare di stelle, perciocchè la visuale vicino al contorno, percorrendo nell'ammasso una piccola corda, incontra meno stelle che non più in là verso il centro dove percorre una corda più lunga. In questo proposito è da notare con Arago una cosa importante. Le parti di visuali parallele che sono comprese in una sfera vanno crescendo di lunghezza dall'orlo della sfera verso il centro, ma crescono più rapidamente vicino all'orlo che non verso il mezzo; ne viene che se le stelle fossero distribuite ad uguali distanze dappertutto dentro la sfera, le lunghezze di codeste parti di visuale sarebbero proporzionali al numero delle stelle che esse lambiscono, e però lo splendore veduto secondo le visuali sarebbe diverso nella stessa ragione delle lunghezze di codeste parti, cioè varierebbe più rapidamente presso l'orlo che non presso il centro. Si osserva al contrario che lo splendore nelle nebulose sferoidali cresce più rapido verso il mezzo che non presso l'orlo, dunque conviene che le stelle non siano equidistanti tra loro nella sfera ma siano molto più ravvicinate nei luoghi centrali, come se una forza di condensazione vada stringendole da tutte parti verso il centro dell'ammasso (1).

Non è dato numerare le stelle di una nebulosa sferoidale, ma si può farne un cotal computo approssimato. Si valuta la distanza angolare delle stelle prossime al contorno dove non si projettano l'una sull'altra, e dal paragone di tale distanza col diametro della nebulosa ricavasi il numero delle stelle di tutto l'acervo. A questo modo si è trovato che una nebulosa del diametro di circa 10 minuti, la cui superficie apparente è

(1) *Arago. Annuaire* etc. 1842, pag. 421.

appena $^1/_{10}$ di quella del disco lunare non contiene meno di 20000 stelle.

2.° Le *nebulose traforate* od *anulari*. Sono per lo più ellittiche. Nell'emisfero boreale Lord Rosse ne conta 7; nell'emisfero australe ve n'ha una circolare. È probabile che siano fatte di una moltitudine di astri disposti ad anello.

3.° Le *nebulose planetarie*, così dette perchè somigliano molto al disco dei pianeti, rotonde le più o un poco ovali. Se ne contano 25. Parecchie hanno luce uniforme su tutto il disco, altre son tempestate di punti di luce o di onde leggieri, non si nota mai che la luce sia più viva nel centro. Rosse verificò che 5 di queste non sono che nebulose anulari con una o due stelle nel mezzo. Non tutte sono bianche, ve n'ha di colore indaco.

4.° Le *stelle nebulose*, stelle cinte ciascuna di una nebulosità sferica che fa sistema con loro. La posizione centrale della stella in tutte queste nebulosità toglie il dubbio che siano apparenze prospettiche di stelle semplici poste su visuali che battano proprio al centro di altrettante nebulosità lontane.

L'atmosfera nebulosa di tali stelle dev'essere estesissima. Il raggio di una di esse notata da Herschel ha la grandezza angolare di 150 secondi; se la parallasse annua dell'astro, come pare, non arriva ad un secondo, bisogna dire che il confine esterno della atmosfera nebulosa dista dalla stella centrale più che 150 volte l'intervallo dal sole alla terra.

Talvolta la nebulosità sembra foggiata ad anello. Non si può decidere s'ella risplenda di luce propria o se riceva la luce dalla stella centrale.

Arago mette innanzi la congettura che le nebulose planetarie siano tante stelle nebulose così lontane da noi che la differenza dello splendore fra la stella centrale e l'atmosfera non torni punto sensibile. Pare a primo aspetto che la distanza debba affievolire e perdere il lume dell'atmosfera più presto che quello dell'astro centrale, ma un facile discorso ci persuade che in realtà deve seguire il contrario. Si immagini una stella nebulosa; la stella vera è nel centro e non ha grandezza angolare sensibile, bensì l'atmosfera che la cinge ha una certa grandezza angolare. Si supponga che veduto il sistema ad una distanza 1 la luce della stella centrale vinca di molto la luce dell'atmosfera. Alla distanza 2 lo splendore della stella è disceso a $^1/_4$, ma lo splendore dell'atmosfera non è mutato, perciocchè al raddoppiare della distanza la grandezza angolare dell'atmosfera di-

minuisce, si riduce alla metà di prima e la superficie apparente si riduce a $^1/_4$, e siccome tutta la luce parte allora da questa superficie diminuita, così lo splendore visibile tanto guadagna per la diminuzione della grandezza apparente quanto perde per l'aumento della distanza e però non si muta. Alla distanza 3, 4, ... 10, ... 100 l'intensità di luce della stella centrale è $^1/_9$, $^1/_{16}$ ... $^1/_{100}$ ... $^1/_{10000}$ di prima, e mentre la stella s'indebolisce così rapido, la nebulosità diventa 3, 4, ... 10 ... 100 volte più piccola di grandezza angolare, serbando sempre lo stesso splendore. E ciò avviene del pari se l'atmosfera splenda per luce propria o solo rifletta luce dell'astro centrale. Quali che siano dunque alla prima distanza le rispettive intensità di luce d'una stella e della sua atmosfera, si può sempre immaginare una seconda distanza in cui la stella indebolitasi non si distingua più di mezzo all'atmosfera sua; a tale distanza ed alle distanze maggiori la stella nebulosa avrà l'aspetto di una nebulosa priva di nucleo, di una nebulosa planetaria (1).

Le nebulose irregolari diffuse pigliano spazii di più gradi nella volta celeste ed hanno forme svariatissime. Una protende lunghe braccia, un'altra si spiega a ventaglio, questa fa una cerchia intorno ad uno spazio oscuro, quella raffigura una cometa, altre non sono allo sguardo che linee sottili rette o curve, taluna al telescopio di Rosse appare conformata a spira. In qualche lato il contorno è deciso, in altro lato l'albore va smarrito con gradazione insensibile nell'azzurro del cielo. V'è anche delle nebulose diffuse rotonde le quali appariscono meno grandi che le suddette, ed è degno di nota che talvolta due di queste nebulose ben distinte si attengono l'una all'altra per un sottile filamento, indizio e quasi testimonianza visibile che esse ebbero origine comune.

Parve a W. Herschel, Bouillaud, Le Gentil di avere scorto pur in taluna delle nebulose irregolari qualche cambiamento nello splendore e nei contorni, ma le lunghissime osservazioni di I. Herschel non confermano ciò.

Le nebulose irregolari trovansi tutte sui lembi della Via Lattea o poco discosto, quasi emanazioni o frammenti di questa, mentre le nebulose regolari sono per tutto il campo celeste o raccolte a molta distanza dalla Via Lattea in regioni particolari.

Vicino alle nebulose le stelle scarseggiano, ed anzi gli spazii più poveri di stelle sono vicini alle nebulose stellari più

(1) *Annuaire du Bureau des longitudes, pour l'an* 1842, pag. 410.

ricche, come se queste siansi formate di stelle sparse dapprima in essi spazii.

269. *Via Lattea*. Si chiama *Via Lattea* la fascia luminosa bianchiccia che cinge la sfera stellata press'a poco secondo un circolo massimo. A un certo luogo ella si bipartisce e dà un ramo secondario che corre allato del principale per circa 120° e poi si ricongiunge ad esso. La larghezza della fascia è diversa: in alcuni tratti non supera 5°, in altri è di 10° ed anche 16°: i due rami in un luogo pigliano in largo più che 22°.

Democrito già reputava che la Via Lattea sia il chiarore d'una moltitudine di stelle così fitte che in tanta distanza non si può distinguerle ad una ad una. Galileo, drizzatovi il primo telescopio, verificò essere giusto l'avviso di Democrito, giacchè vide risolversi quegli albori in più e più stelle. Ma donde viene che la Via Lattea è una fascia continua in vista, e gira in un circolo massimo della sfera? Wrigt di Durham, Kant e Lambert pensarono che queste condizioni si adempiano perchè le stelle della Via Lattea costituiscano un grande strato piano, poco grosso, e la terra dove noi siamo a guardare si trovi compresa nello strato anch'essa. W. Herschel senza sapere, a quanto sembra, le vedute dei filosofi nominati, ebbe a confermarle con le sue diligenti osservazioni. A conoscere la struttura della Via Lattea era da verificàre se, scostandosi grado grado dalle sue regioni medie dove la congerie è più fitta, il numero delle stelle andasse diminuendo con regolarità o senza legge. Herschel prese a scandagliare i cieli per avere in numero di stelle i valori delle ricchezze medie delle diverse regioni. Il metodo fu questo: un telescopio, il cui campo raccoglieva un circoletto di volta celeste del diametro di 15 minuti, veniva diretto ad una regione di cielo; si notava il numero di stelle comprese in ciascuno di 10 campi contigui o vicinissimi tra loro, posti verso il mezzo della regione; sommati i 10 numeri, e divisa la somma per 10, si teneva il quoto come valore della ricchezza media di quella regione. Si faceva lo stesso per un'altra regione, e se il valore ottenuto era doppio, triplo,... decuplo del primo, se ne inferiva che, ad estensione pari, la seconda regione era 2, 3,... 10 volte più ricca a stelle che non la prima. Il quadro delle osservazioni di Herschel dimostra che vi sono regioni in cui il numero medio di stelle contenute nel campo del telescopio non è che di 5, di 4, di 3, di 1; anzi in qualche luogo ci vogliono 4 campi successivi per dare 3 stelle. In altre regioni questi campi sì piccoli, queste aree cir-

colari dal diametro di 15 minuti (circa 1/4 della superficie apparente della luna), contengono 300, 400, 500, ed anche 588 stelle. Quando il telescopio mira a queste regioni più popolose che son nel mezzo della Via Lattea, l'osservatore vede passare in un solo quarto d'ora fino a 116000 stelle. L'aspetto generale della Via Lattea e la sua costituzione stellare scandagliata da Herschel sono in tutto conformi alla supposizione ch'ella sia fatta di milioni di stelle disposte in uno strato piano di grossezza piccola in confronto della lunghezza e larghezza. La terra si trova in questo strato, e perciò se il nostro sguardo sorge perpendicolare o poco obliquo ad esso, vede su queste direzioni più rare le stelle, ed anche le vede brillar bene quasi tutte, perchè non sono molto lontane; ma grado grado che la direzione dello sguardo si va accostando a quella dello strato, si vede crescere prodigiosamente il numero delle stelle più lontane, e quando lo sguardo si volge in giro propriamente in direzione parallela alla giacitura dello strato l'immenso numero di stelle remotissime apparisce in forma di nebbia luminosa che si projetta sulla volta celeste come fascia circolare. Il ramo secondario della Via Lattea è l'aspetto di uno strato di stelle che si congiunge ad angolo molto acuto con lo strato principale. La disposizione dei due strati è quale si avrebbe se in uno strato unico venisse praticato un fesso in direzione parallela alle sue facce, e si rimovesse di poco l'una dall'altra in sul contorno le due falde risultanti.

Le stelle non sono distribuite equabilmente nella Via Lattea ma vi compongono qua e là diversi gruppi distinti, alcuni dei quali sul lembo.

Herschel figlio al Capo di Buona Speranza osservò che in un certo luogo dell'emisfero australe (presso la costellazione della Croce) la Via Lattea manda luce più viva ed offre una moltitudine di sue stelle all'occhio nudo, e che la luce va digradando mano mano che da quel luogo si procede verso la parte opposta della fascia, dove non è più che un tenue albore vaporoso senza alcun vestigio di stelle. Egli ne inferì che la metà australe della Via Lattea è sensibilmente più vicina alla nostra terra che non l'altra metà boreale, e che lo strato di stelle ond'è costituito l'intero sistema ha la forma di un anello quasi piano in cui la terra è dalla parte che noi diciamo australe, presso il giro interno, e circa alla metà dell'altezza dello strato.

Le più recenti osservazioni accennano che la Via Lattea sia un sistema di parecchi anelli concentrici, di grossezze molto diverse, ed a varia distanza l'uno dall'altro.

Secondo queste immagini la Via Lattea è una nebulosa traforata od anulare (§ 268). Ad essa appartengono tutte le stelle che noi ammiriamo più splendide nel firmamento: il nostro sole è in questa nebulosa una stelluzza, la terra un grano impercettibile di polve. Nè si presuma che la Via Lattea sia più grande che le altre nebulose della stessa forma che vediamo nel cielo coi telescopi; chi la guardasse da quelle nebulose la vedrebbe probabilmente quale noi le vediamo.

270. *Nubi di Magellano. Sacchi di carbone.* Nell'emisfero australe è pittoresco l'aspetto di due nubi luminose che diconsi di Magellano. La loro luce blanda ma non uniforme, l'essere là così sole, il giro che fanno intorno al polo sud le segnalarono per tempo ai viaggiatori; esse ebbero altri nomi prima di questo. La maggiore occupa 42 gradi quadrati della volta celeste, la minore 10. Herschel figlio nel 1837 al Capo di Buona Speranza vi ha scorto un gran numero di stelle isolate, e sciami di stelle, e ammassi sferici, e molte nebulose ovali e irregolari fitte fitte. Le due nubi non sono congiunte nè con la Via Lattea nè tra loro da nessun albore percettibile; la minore giace in uno spazio quasi diserto di stelle; intorno alla maggiore il cielo è meno povero. In mezzo della maggiore vi è una nebulosa che non ha pari in tutto il firmamento; occupa non più di $^{1}/_{300}$ dell'area della nube, e già I. Herschel potè assegnarvi la posizione di 105 stelle di 14.ª, 15.ª e 16.ª grandezza sopra un campo latteo uniforme che i telescopi più potenti non risolvono.

Presso le nubi di Magellano, ma a maggiore distanza dal polo sud, vi sono le macchie nere, dette *sacchi di carbone*, che fin dal secolo XVI attirarono lo sguardo dei naviganti portoghesi e spagnuoli. Sono spazii muti di luce; il più grande ha la forma di un pero ed occupa 8 gradi in lungo e 5 in largo. In esso vi è una sola stella visibile ad occhio nudo tra la sesta e la settima grandezza, e parecchie stelle telescopiche. Si opina che questi spazii appariscano così oscuri solo per difetto di stelle e per il contrasto con lo spazio stellato all'ingiro, ma a vederli pare che siano fori aperti verso le profondità del firmamento.

271. *Distribuzione generale delle stelle. Movimenti di esse.* Le stelle innumerevoli della volta celeste sono, le une disseminate variamente per tutte parti, le altre composte a migliaja in gruppi dove pare che le governi un freno di mutua dipendenza. Tali gruppi offrono all'occhio nudo l'aspetto di nebulose

a luce pallida, per lo più tondeggianti, e sono essi pure o solitarii o affollati in alcune regioni, per esempio nella Via Lattea, nelle nubi di Magellano. La Via Lattea, ne ha molti anche di forma irregolare; questi comprendono meno stelle che i rotondi e non danno così chiari segni di condensazione centrale. In un gran numero di ammassi globulari le stelle son tutte di uguale grandezza, in altri sono di grandezze assai diverse: in qualche sistema globulare sfavilla dal centro una stella rossa.

A lungo andare deve mutarsi la distanza rispettiva delle stelle che diciamo fisse e però anche la figura delle costellazioni, giacchè, come abbiamo accennato, molte stelle, e forse tutte, hanno de' movimenti progressivi, i cui effetti, atteso le distanze grandi, riescono sensibili solo nel corso dei secoli, e questi movimenti delle varie stelle seguono per direzioni diverse e con diverse velocità apparenti. Le velocità fin qui misurate variano tra 0",05 e quasi 8" all'anno; velocità piccole in apparenza ma che sono immense in que' corpi a tanta distanza da noi. I movimenti più sensibili non sono già nelle stelle più splendide, son nelle stelle di 5.ª, di 6.ª, ed anche di 7.ª grandezza.

272. *Movimento del sole.* Il sole, come tutti gli astri, sorge e tramonta ogni giorno, accerchiando la terra (§ 251). Oltre questo moto diurno da oriente ad occidente, si riconosce di leggieri nel sole un altro moto in direzione contraria. Il sole non sorge sempre e non tramonta sempre in compagnia delle medesime stelle. Le stelle situate sul suo cammino e che in certe sere tramontano un po' dopo di lui, ne' giorni successivi si immergono e vanno smarrite in la sua luce, e dopo alcuni dì ricompajono la mattina, ma innanzi al suo levarsi, e lo precedono poi ogni giorno d'uno spazio sempre maggiore. Non sono le stelle che si movono, perchè queste non mutano punto di posizione rispetto alle altre stelle, è dunque il sole che si move di continuo incontro ad esse da occidente ad oriente, passando da uno ad altro circolo di declinazione (§ 258). In pari tempo vediamo che il sole nell'anno si leva e tramonta in diversi luoghi dell'orizzonte, nella state più verso nord che nell'inverno; esso dunque si trasmuta anche da un parallelo ad un altro, e così mentre varia la sua ascensione retta varia pure la sua declinazione.

Per conoscere esattamente questo moto convien osservare giorno per giorno l'altezza del sole nell'istante che culmina (altezza meridiana), e notare ogni volta il tempo che passa tra il culminare del sole e quello d'una stella fissa determinata.

Le differenze di tempo tra il culminare del sole e della stella fissa danno a vedere come varia l'ascensione retta, ossia il luogo del sole nella direzione dell' equatore; le differenze delle altezze meridiane danno a vedere come varia la declinazione, ossia il luogo del sole nella direzione del meridiano. Dai due movimenti così individuati si desume il moto composto risultante, e con ciò si viene a definire la linea che agli occhi nostri percorre il sole nella volta celeste (orbita del sole) e l'ordine delle velocità.

Ora ecco i risultamenti delle osservazioni. In quanto al moto nella direzione dell'equatore, si trova che se in un certo giorno il sole culmina, cioè giunge al meridiano, insieme con una stella, nel giorno successivo quando la stella è ritornata al meridiano il sole non vi è pervenuto ancora, e vi perviene circa 4 minuti più tardi; il sole nelle 24 ore che passarono si è dunque scostato dalla stella da ovest verso est di quel piccolo arco che viene percorso in 4 minuti, cioè dell'arco di circa un grado; il giorno dopo esso perviene al meridiano ancora più tardi; e così ad ogni giorno resta indietro sempreppiù verso est. L'aumento del ritardo però non è il medesimo in ogni giorno, ma per alcun tempo cresce dì per dì, e poi diminuisce. Alla fine il ritardo importa un giorno intiero e allora il sole trovasi raggiunto alla stella e culmina di bel nuovo insieme con lei, e questo accade dopo un anno di 365 giorni.

In quanto al moto nella direzione del meridiano: al cominciare della primavera (nella seconda metà di marzo) il sole è nel piano dell'equatore; l'altezza meridiana sua cresce di giorno in giorno, finchè dopo tre mesi (in giugno) supera l' altezza dell'equatore sull'orizzonte di circa 23°, 28'; da questo tempo ella va scemando, e dopo tre mesi (in settembre) torna ad essere uguale all'altezza dell'equatore; in seguito diventa più piccola fin che giunge ad essere sotto l'equatore di 23°, 28' (in dicembre); quindi torna a crescere e si adegua di nuovo all'altezza dell'equatore (in marzo), e d'allora in poi si ripete sempre l'intero periodo delle variazioni allo stesso modo.

Componendo insieme i moti del sole nelle due direzioni risulta che: 1.° il sole descrive in un anno un'orbita piana (ABCDA, fig. 137), la quale è inclinata all'equatore (EE) di circa 23°, 28' e lo taglia in due punti (A,C) diametralmente opposti; 2.° la direzione del moto è da occidente ad oriente (come

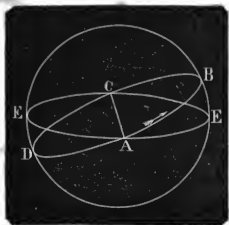



Fig. 157.

indica la freccia nella figura); 3.° la velocità non è costante, ma per un certo tempo va crescendo e poi va diminuendo (1).

273. *Eclittica. Equinozii. Solstizii. Tropici. Circoli polari.* L'orbita del sole si chiama *eclittica*, dal nome degli eclissi i quali non avvengono se non allora che la luna attraversa quest'orbita o passa molto vicino ad essa. Il sole quando si trova nei due punti (A,C, fig. 157) dove l'eclittica taglia l'equatore, illumina egualmente i due emisferi boreale ed australe della terra, e nel moto diurno percorre l'equatore stesso, ed è per 12 ore sopra l'orizzonte, per 12 ore sotto, onde la durata del giorno uguaglia in ogni luogo della terra la durata della notte; perciò tali due tempi, che sono verso il 21 marzo e il 23 settembre, si dicono *equinozi*, l'uno *di primavera* (quando il sole è in A) l'altro *di autunno* (quando il sole è in C), e i punti (A,C) dell'eclittica dove trovasi allora il sole si dicono *punti equinoziali.*

L'altezza meridiana del sole tocca al suo massimo circa al 22 di giugno ed al suo minimo circa al 22 di dicembre, cioè quando l'astro, dopo allontanatosi di circa 23°, 28' dall'equatore verso nord, e poi di altrettanto verso sud, sta per tornare indietro. Mentre il sole è prossimo a questi limiti le variazioni della declinazione e dell'altezza meridiana sua sono insensibili per qualche giorno, ond'esso par stazionario; perciò i due tempi corrispondenti si dicono *solstizi*, l'uno d'*estate*, l'altro d'*inverno*. I punti dell'eclittica dove trovasi allora il sole si dicono *punti solstiziali*, l'uno d'*estate* ed è il punto (B) più settentrionale dell'eclittica, l'altro d'*inverno* ed è il (D) più meridionale. I circoli paralleli che passano per questi due punti, e che sono percorsi dal sole col suo moto diurno nei due solstizi, si

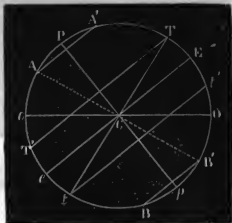
(1) La velocità massima, cioè l'arco massimo percorso in un giorno dal sole è di 61', 10", 1 = 3670",1, la minima di 57', 11" 7 = 3431" 7; il valore della velocità media di tutto l'anno è 59', 8", 3 = 3548", 3.

chiamano *tropici* (da τρέπω volgere) perchè giunto a questi limiti il sole si volge tornando verso l'equatore. Dal nome poi di due costellazioni presso le quali i due tropici si trovano, quello al nord si dice *tropico del cancro*, quello al sud *tropico del capricorno*.

È chiaro che l' asse del mondo, e però anche l' asse della terra, fa col piano dell' eclittica l'angolo di 66°, 52', complemento di quello che fa l'eclittica coll'equatore. L'asse dell'eclittica è inclinato all'asse dell'equatore, cioè all'asse del mondo, precisamente di quanto l'eclittica è inclinata all'equatore, cioè di 23°, 28'. I due circoli paralleli condotti per i due punti estremi dell'asse dell'eclittica, ossia per i due poli dell'eclittica, si chiamano *circoli polari;* evidentemente essi distano dai poli del mondo di 23° 28'; quello al nord riceve l'epiteto di *artico* (ἄρκτος orsa) perchè si trova nella parte di cielo dove sono le due costellazioni chiamate orse (maggiore e minore), quello al sud l'epiteto di *antartico* (ἀντί contro) perchè si trova nella parte australe del cielo diametralmente opposta alla suddetta (1).

Il circolo di declinazione che passa per il punto (A fig. 157) dell'equatore, in cui è il sole nell'equinozio di primavera, è quello che si ritiene come primo nella misura delle ascensioni rette (§ 258).

Fig. 158.

(1) A fissare distintamente i circoli e le relazioni che abbiamo accennato, giovi la fig. 158 che rappresenta la sfera celeste. P*p* è l'asse del mondo, il circolo O*o* l'orizzonte, il circolo E*e* l'equatore, l'eclittica è rappresentata dal circolo T*t*, il cui piano fa col piano dell'equatore l'angolo TCE = 23°, 28'; C è il punto equinoziale di primavera, T il punto solstiziale d'estate, *t* quello d'inverno, il circolo TT' il tropico del cancro, il circolo *tt'* il tropico del capricorno, AB' l'asse dell'eclittica. L'angolo PCT che l'asse del mondo fa col piano dell'eclittica è complemento dell'angolo TCE che l'eclittica fa coll'equatore. L'inclinazione PCA dell'asse dell' eclittica all' asse dell'equatore è uguale a TCE. AA' è il circolo polare artico, BB' il circolo polare antartico che distano ciascuno dal rispettivo polo di AP o B*p* = 23°, 28'.

A ben definire l'orbita in cui vediamo che si move il sole, bisogna conoscere come varia la distanza che ha dalla terra il sole ne' punti successivi del suo cammino. Le variazioni delle distanze si desumono da quelle del diametro apparente dell'astro, giusta la legge che la grandezza apparente di un oggetto è in ragione inversa della sua distanza dal luogo da cui lo si guarda (§ 260). La grandezza apparente del diametro del sole è variabile tra un massimo ed un minimo, e da quello discende a questo in modo continuo, e nella stessa guisa ascende poi da questo a quello. Il valore massimo è di 32′, 35″, 6 = 1955″, 6, il minimo 31′ 31″ = 1891″. La distanza massima del sole dalla terra sta dunque alla minima come 19556 : 18910, o prossimamente come 30 : 29. Inoltre si nota che la distanza minima corrisponde alla velocità massima dell'astro e la distanza massima alla velocità minima, e si trova altresì che il prodotto del quadrato della distanza per la velocità ha lo stesso valore, e quando il sole è alla distanza massima e quando è alla minima [1]. Questa costanza di valore sussiste anche per ogni altro punto dell'orbita solare, onde si può stabilire la regola che l'arco di eclittica percorso in un giorno dal sole è in ragione inversa del quadrato della distanza del sole dalla terra, la quale regola ci abilita a dedurre le distanze giornaliere del sole dalle misure dell'arco percorso dall'astro giorno per giorno.

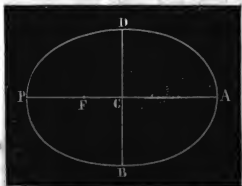



Fig. 159.

Costruita con queste giornaliere distanze l'orbita solare si trova ch'ella è un elisse (fig. 159) in un fuoco (F) della quale vi è la terra. Il semiasse maggiore (CA) dell'orbita è = 24073 raggi del nostro globo. Ritenuto per unità di misura il semiasse maggiore, è:

(1) Posto = 1 il diametro minore del sole, e = 1,03416 il diametro massimo, i quali due numeri rappresentano anche la distanza massima e la minima del sole dalla terra. I loro quadrati sono 1 e 1,06948, e però il prodotto del primo per la velocità massima è 3670,10, quello del secondo per la velocità minima (3431,70) è 3670,13, prodotti sensibilmente uguali.

la distanza minima (PF) del sole della terra = 0,98321;
la distanza massima (AF) » = 1,01679;
l'eccentricità dell'orbita (CF). . . . . = 0,01679.

L'eccentricità è dunque ben piccola; in giuste proporzioni la elisse non apparirà diversa da un circolo; se per esempio si disegna l'elisse facendo il semiasse maggiore (CA) lungo un metro, sarà il semiasse minore (CD) = 0^m,99986, e la differenza fra i due semiassi 0^m,00014, o circa $1/7$ di millimetro: nella figura la linea che segna il contorno dell'elisse dev'essere ben fina per non eccedere in grossezza questa misura.

I due punti dell'orbita (P ed A) in cui il sole ha la distanza minima e la distanza massima dalla terra, i quali sono gli estremi dell'asse maggiore, si dicono *apsidi* (ἄψις arcata), e però l'asse maggiore dell'eclittica si dice anche *linea degli apsidi*. Il punto (P) dove il sole è più vicino alla terra si dice più propriamente *perigeo* (περί presso, γῆ terra), quello dove è più lontano *apogeo* (ἀπό lungi). Il sole si trova al perigeo verso il 1.° di gennajo, all'apogeo verso il 1.° di luglio.

Ora vediamo qual'è la disposizione dell'eclittica nel suo piano. La sezione che il piano dell'eclittica fa nella sfera celeste, apparisce come un circolo massimo (R'E'S'F', fig. 160) nel cui centro (T) sta la terra. Le posizioni del sole sulla vôlta celeste nei due equinozi e nei due solstizi sono alle estremità di due diametri (E'F', R'S') di questo cerchio, perpendicolari l'uno all'altro. Il diametro (E'F') che segna le posizioni del sole nei due equinozi e che si dice la *linea degli equinozi* è anche la comune intersezione del piano dell'eclittica e del piano dell'equatore. L'eclittica (ADPB) è situata nel proprio piano di tal maniera che l'asse maggiore (AP) non coincide col diametro (R'S'), che è la *linea dei solstizi*, ma tiene l'apogeo (A), e così il perigeo (P), al di là dei luoghi dei solstizi nel verso del moto del sole (indicato dalla freccia nella figura), tanto che il sole nel suo corso arriva al perigeo (P) qualche giorno dopo essersi trovato nel solstizio d'inverno (sulla direzione TS'); e infatti la grandezza apparente del sole è massima verso il 1.° di gennajo che è circa 10 giorni dopo il solstizio d'inverno. La distanza (P'S') del perigeo del sole dal luogo di questo solstizio è di circa 10° [1].

(1) A formarsi una immagine della condizione dell'eclittica rispetto all'equatore, si supponga che il piano del foglio sia il piano dell'equatore, e che

274. *Precessione degli equinozi.* I punti equinoziali (E, F fig. 160) non sono immoti nella vòlta celeste, ma si movono

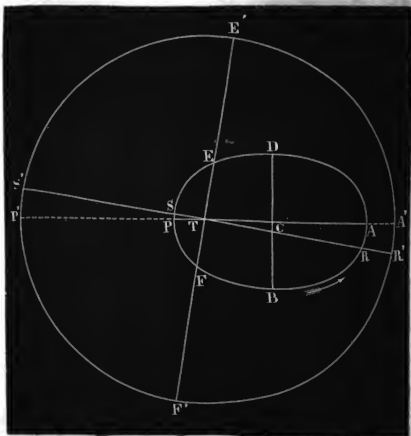



Fig. 160.

lentamente da est verso ovest, cioè in direzione opposta a quella che tiene il sole nel girare per l'eclittica. Questa osservazione si deve ad Ipparco; è la più bella osservazione astronomica

la figura giri intorno ad E'F' come intorno a cerniera fino a rialzare la parte FBAE, ed abbassare la EPF di 23°, 28'. La elisse ADPB così disposta rappresenta la eclittica anche nella sua giacitura; la parte di eclittica FBAE si trova nell'emisfero settentrionale, l'altra EPF, che è alquanto minore, nel meridionale.

della antichità. Vuolsi immaginare che il piano dell'equatore, il quale è intersecato dal piano dell'eclittica secondo un diametro (EF), i cui estremi sono i punti equinoziali, non rimane già fisso nella sua posizione rispetto al piano dell'eclittica, ma muta lentamente il verso della sua inclinazione per modo che il diametro d'intersezione viene a girare sul centro (T) da est verso ovest, onde i punti equinoziali girano anch'essi di conserva. Questo moto dei punti equinoziali non è uniforme; la sua velocità media è di circa 50″ all'anno, ossia di circa 1°, 24′ al secolo. Ne segue che se adesso il punto equinoziale di primavera (F) coincide con una qualche stella, di qui ad un anno esso punto sarà ad ovest della stella per circa 50″, di qui ad un secolo per circa 1°, 24′. E poichè i punti equinoziali si traslocano di continuo verso ovest, il sole, girando nell'eclittica, arriverà a quei punti prima che alle stelle già coincidenti con essi, per raggiungere le quali dovrà percorrere ancora un arco di tante volte 50″ quanti anni sono passati dal tempo della coincidenza. Questo antivenire degli equinozi d'anno in anno per effetto del moto retrogrado dei punti equinoziali lungo l'eclittica si dice *precessione degli equinozi.* In tale moto retrogrado ciascun punto equinoziale percorre tutta l'eclittica in 25868 anni.

Il piano dell'equatore, oltre al rivolgersi lentissimo qui accennato, fa alcune piccole oscillazioni periodiche di cui diremo in seguito.

275. *Latitudine e longitudine di un astro.* La posizione degli astri nel cielo si designa spesso col riferirla al piano dell'eclittica invece che a quello dell'equatore (§ 258). La distanza che un astro ha dall'eclittica, misurata sull'arco di circolo massimo passante per l'astro e perpendicolare all'eclittica si dice *latitudine* dell'astro. La latitudine è analoga alla declinazione, e al pari di questa può essere boreale od australe. L'arco poi dell'eclittica compreso tra codesto circolo massimo e il punto equinoziale di primavera si dice *longitudine* dell'astro: la longitudine è analoga all'ascensione retta, e si misura dalla parte di oriente lungo tutta quanta la periferia, cioè da 0° a 360° (1). Queste coordinate eclittiche hanno sulle

(1) Sia *e* (fig. 161) un astro, ABCD l'eclittica, EE l'equatore, A il punto equinoziale di primavera, oK l'asse dell'eclittica, oP quello dell'equatore. Si immagini il circolo massimo passante per *e* e perpendicolare all'equatore, P*ea* è un quadrante di tale circolo; l'arco *ea* è la declinazione dell'astro *e*, l'arco A*a*

equatoriali il vantaggio di non variare come che si giri nei secoli la giacitura dell'equatore verso l'eclittica, salvo la variazione di longitudine che dipende dal moto del punto equinoziale di primavera.

276. *Movimenti secolari dell'eclittica.* Non tutte le condizioni dell'eclittica però durano costanti. Il piano di quest'orbita si credeva un tempo che tenesse posizione fissa nel cielo, ma poichè Ticone Brahe avvisò nel secolo XVI che le latitudini delle stelle poste verso i solstizi erano cresciute almeno di $1/3$ di grado dopo le prime osservazioni della scuola di Alessandria, fu chiaro che il piano dell'eclittica si move. Le osservazioni successive confermarono che questo piano si abbassa verso l'equatore girando in sulla comune intersezione come su cerniera. Così l'angolo compreso dall'eclittica e dall'equatore, o come si usa dire l'obbliquità dell'eclittica, diminuisce. La diminuzione è ora di circa 48″ al secolo, o 0″,48 all'anno. Il retrocedere dei punti equinoziali che dipende da un moto del piano dell'equatore (§ 274), è dunque accompagnato da un lento diminuire della obbliquità dell'eclittica, che dipende da un moto del piano dell'eclittica.

è l'ascensione retta. Similmente si immagini il circolo massimo passante per *e* e perpendicolare all'eclittica, K*eb* è un quadrante di esso, l'arco *eb*

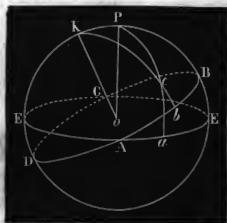



Fig. 161.

è la latitudine dell'astro, l'arco A*b* la longitudine. Note le coordinate equatoriali di un astro, si può con un facile compulo ricavarne le coordinate eclittiche e viceversa.

L'eclittica gira inoltre lentamente nel suo piano, o a meglio dire vi si modifica in guisa che l'asse maggiore (AP, fig. 160) cangia direzione di continuo. Ecco in che modo ciò si conosce. La posizione dell'asse maggiore dell'eclittica è indicata dal valore della longitudine del perigeo (P) del sole; questo valore (che è misurato dall'arco F'R'E'P' e che ora è di circa 280°) cresce ogni anno di 11″, 7 più che non importi la retrocessione del punto equinoziale (F) di primavera, dunque è segno che il perigeo (P) del sole, e però l'asse maggiore (PA) dell'eclittica, gira da ovest ad est per 11″,7 all'anno, andando incontro, per così dire, al punto equinoziale di primavera.

277. *Zodiaco. Costellazioni zodiacali. Segni dell'eclittica.* Fin dalla più remota antichità si usa distinguere nella sfera celeste una fascia o zona (ABCD, fig. 162) che si allarga per circa 9° da una parte dell'eclittica e per circa 9° dall'altra parte, ond'ha una larghezza di circa 18°, nel cui mezzo corre l'eclittica. Le si assegnò questa larghezza all'intento di circoscrivere la zona di cielo dentro la quale si effettua il moto del sole, della luna e di tutti i pianeti. La cosa valeva per i pianeti noti agli Antichi; ora non vale più, perchè alcuni pianeti scoperti in questo secolo trasgrediscono i confini della zona. Ella passa nel suo giro per 12 costellazioni successive che vi occupano ciascuna un arco di circa 30°. Tali 12 costellazioni in quell'ordine che tengono da occidente ad oriente ebbero i nomi: Ariete, Toro, Gemelli, Cancro, Leone, Vergine, Libra, Scorpione, Sagittario, Capricorno, Acquario, Pesci, che per ajuto della memoria furono tradotti ordinatamente ne' due versi latini

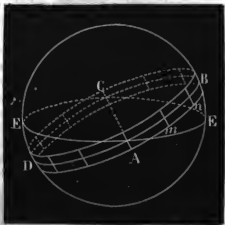



Fig. 162.

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

Da questi nomi, che i più sono di animali, venne alla fascia il

nome di *zodiaco* (ζῶν animale), e alle costellazioni l'appellativo di *zodiacali.*

Le costellazioni zodiacali furono dette anche *segni* perchè servivano a designare le stagioni mediante il passaggio del sole dall'una all'altra nel suo moto per l'eclittica. Già tempo il punto equinoziale di primavera (A, fig. 162) trovavasi al principio di Ariete, e però l'entrata del sole in questa costellazione segnava il principio della primavera. Al giorno d'oggi quel punto si trova condotto verso il principio della costellazione dei Pesci per il suo moto retrogrado (§ 274); ma gli astronomi continuano a dire che il principio della primavera è indicato dalla entrata del sole nel segno di Ariete, intendendo però che questo segno sia il primo arco di 30° (A*m*) preso in sull'eclittica dal punto equinoziale verso oriente, e che gli altri segni successivi coi nomi e coll'ordine delle costellazioni siano gli archi di 30° (*mn*, *n*B, ecc.) che fanno seguito al primo in sull'eclittica verso oriente. Al giorno d'oggi sono dunque due cose diverse le costellazioni del zodiaco e i segni del zodiaco o dell'eclittica che si voglia chiamarli. Le costellazioni sono 12 gruppi reali di stelle sensibilmente immobili nella vôlta celeste, i segni sono 12 archi fittizi, uguali, in cui si immagina divisa l'eclittica, i quali traslocansi ogni anno di circa 50″ verso occidente, cosicchè ciascuno col volgere dei secoli passa da una costellazione del zodiaco all'altra e le percorre tutte in 25868 anni.

278. *Divisione astronomica della superficie terrestre.* V'è una stretta relazione fra l'obbliquità dell'eclittica all'asse della terra e la diversa influenza della virtù solare sulla temperatura e sui prodotti del suolo nelle diverse contrade. Di qui una divisione della superficie terrestre in cinque fasce o zone, determinate da quattro circoli terrestri corrispondenti ai due tropici e ai due circoli polari divisati nella vôlta celeste (§ 273), dai quali ricevono essi anche il nome. La superficie della terra (PE*pe*, fig. 163) si immagina dunque partita

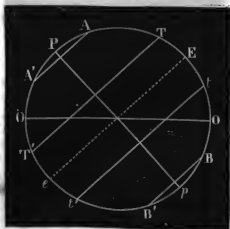



Fig. 163.

da quattro circoli paralleli; il tropico boreale o del cancro (TT'), il tropico australe o del capricorno (tt'), il circolo polare artico (A A'), e il circolo polare antartico (BB'). Ciascun circolo polare dista dal polo rispettivo (P,p) di circa 23°,28', e ciascun tropico dista altrettanto dall'equatore (Ee). Vediamo quali diverse condizioni induca il sole nelle cinque zone risultanti (APA', ATT'A', Ttt'T', tBB't, BpB').

279. *Differenze nella lunghezza dei giorni.* La lunghezza dei giorni fisici, vale a dire dei tempi che corrono dal sorgere al tramontare del sole, è variabile nell'anno in uno stesso luogo; e codesta lunghezza e le variazioni sue sono diverse da luogo a luogo sulla terra. La cagione di tali mutazioni e delle differenze loro è la inclinazione dell'asse della terra al piano dell'eclittica, la quale inclinazione fa che il sole durante l'anno passi per i diversi paralleli compresi fra i due tropici. Se l'asse della terra fosse perpendicolare al piano dell'eclittica il sole compirebbe i suoi giri diurni sempre nel medesimo circolo parallelo, e poichè l'orizzonte di un luogo taglia un medesimo circolo sempre alla stessa guisa tutto l'anno, la lunghezza del giorno in quel luogo sarebbe costante, e così in ciascun altro luogo. Ma essendo inclinato l'asse della terra all'orbita del sole, questo luminare in un anno si avanza da sud a nord e ritorna da nord a sud passando ad ogni giorno in un nuovo circolo parallelo; ora poichè l'orizzonte di un luogo in generale taglia variamente i diversi paralleli, ne segue che la durata del giorno è in generale variabile in uno stesso luogo nel corso dell'anno. Inoltre siccome l'orizzonte di un luogo taglia i circoli paralleli in parti tanto più disuguali quanto più quel luogo dista dall'equatore, così convien pure che differiscano da luogo a luogo e la durata del giorno e le variazioni di questa durata. Non v'è che l'orizzonte dei luoghi equatoriali che tagli tutti i paralleli per metà, onde solo in que'luoghi il giorno fisico dura sempre 12 ore, e così la notte, salvo quelle piccole differenze lungo l'anno che dipendono dalle ineguaglianze del moto del sole nell'eclittica.

Nei nostri paesi, mentre che il sole ha una declinazione australe, i circoli paralleli in cui lo vediamo rivolgersi tengono sopra l'orizzonte una parte di sè più piccola di quella che tengono sotto, e tanto più piccola quanto più la declinazione è grande, però i giorni sono più brevi delle notti e la differenza è variabile nell'anno, secondo che varia la declinazione del sole. Quando poi la declinazione del sole è settentrionale, avviene il

contrario, e allora i giorni sono più lunghi delle notti. La giornata più lunga per noi (a 45° di latitudine), che è in giugno, dura 15 ore e 26 minuti; la più breve, in dicembre 8 ore e 34 minuti; così la notte più breve è di 8 ore e 34 minuti, la più lunga di 15 ore e 26 minuti. Quando il sole è all'equatore (nei punti equinoziali) il giorno e la notte sono, come si è già detto, uguali l'uno all'altra in tutti i luoghi della terra.

Siccome il sole ritorna due volte l'anno in ciascun parallelo, salvo i due estremi, cioè nel salire dalla minore alla maggiore altezza mediana e nello scendere da questa a quella, così ciascun giorno, salvo il più lungo e il più breve, ha il suo pari in durata nell'anno, ed egualmente ciascuna notte; per esempio, il giorno 2 febbrajo è lungo quanto il 7 novembre, il 18 marzo quanto il 23 settembre.

Uno stesso giorno è di uguale durata in tutti i paesi che si trovano sul medesimo parallelo per quanto siano distanti l'uno dall'altro, per esempio, a Napoli ed a Pekino.

Più è grande la latitudine geografica di un luogo e più diseguali riescono le parti in cui l'orizzonte del luogo divide i circoli paralleli, e quindi più diseguali di lunghezza per una medesima declinazione del sole il dì e la notte.

Per i luoghi al di là dei circoli polari terrestri, alcuni dei paralleli percorsi dal sole sono per intero sotto l'orizzonte, però mentre il sole gira in tali paralleli non sorge a rischiarare quei luoghi; altri di codesti paralleli poi sono per intero sopra l'orizzonte e il sole vi si aggira di seguito senza tramontare: di qui le notti e i giorni di lunga durata nelle regioni al di là dei circoli polari. Ai poli della terra, l'intero anno si distingue in un giorno e in una notte. Al polo nord il giorno dura per tutto il tempo che la declinazione del sole è boreale, al polo sud il contrario.

Alla latitudine boreale di 66° 32' il giorno fisico più lungo è di 24 ore, alla latitudine di 67°, 24' è già di un mese. Gli spazi di tempo che, nelle due zone al di là dei circoli polari, il sole persiste sopra l'orizzonte senza tramontare e sotto senza sorgere, non sono egualmente lunghi in due luoghi la cui latitudine sia di ugual valore, ma l'una boreale e l'altra australe. Così alla latitudine boreale di 75° il sole non tramonta per lo spazio di 103 giorni di 24 ore e non sorge per lo spazio di 97 giorni, ma alla latitudine australe di 75° il sole rimane sopra l'orizzonte per tutto il tempo ch'esso non sorge alla latitudine boreale di 75° e rimane sotto l'orizzonte

per tutto il tempo che esso non tramonta a quella latitudine; dunque rimane sopra l'orizzonte per 97 giorni e sotto per 103. Queste differenze nei due emisferi boreale ed australe della terra dipendono dalla posizione eccentrica dell'eclittica rispetto all'equatore celeste e insieme dalla legge della velocità del sole nel suo moto annuo (§ 273), per le quali condizioni il solè in un anno dimora un po' di più nell' emisfero settentrionale del cielo che nel meridionale.

In generale due paesi diametralmente opposti sulla terra, cioè due paesi i cui abitatori sono antipodi gli uni degli altri, hanno l'orizzonte razionale comune, se non che l'emisfero celeste che per l'un paese è sopra l'orizzonte per l'altro è sotto, e viceversa; onde gli astri in quella che tramontano per l'uno spuntano per l'altro, e mentre nell'uno è giorno, nell' altro è notte, se di qua è mattino, di là è sera, il punto di mezzodì dell' un paese è quello di mezzanotte dell'altro, il giorno più lungo dell'anno nell'uno è la notte più lunga nell'altro, alla quale si appaia il giorno più breve (1).

(1) Dimostriamo con la figura le differenze e le variazioni accennate.

Il circolo (fig. 164) rappresenti la terra; P è il polo nord, *p* il polo sud, E*e* è l'equatore; la superficie è divisa nelle cinque zone (§ 278). Il globo terrestre, da qualunque lato sia il sole, ne viene illuminato per una metà, l'altra metà è nelle tenebre; la distinzione tra questa e quella metà è segnata da un circolo massimo avente per asse la retta che congiunge il centro del sole col centro della terra. Tale circolo si chiama *circolo di illuminazione*.

Fig. 164.

Il sole quando ha la declinazione australe massima (nel tropico del capricorno) si trova sulla direzione SS; il circolo che in quel tempo distingue l'emisfero illuminato della terra dall'emisfero in ombra, cioè il circolo di illuminazione è AB; esso gira col sole nel moto diurno, tenendosi ognora disposto dal punto più alto A del circolo polare artico al punto più basso B del circolo polare antartico. È chiaro che in quel tempo dell'anno, e similmente negli altri tempi, le diverse durate del giorno nei diversi luoghi della terra sono quali sarebbero se, stando immobile il sole a un punto del parallelo celeste in cui si trova, girasse invece la terra in 24 ore intorno al suo asse P*p*. Dunque: 1.° siccome l'equatore E*e* è per metà nella parte illuminata e per metà nella oscura, così in ogni punto dell'equatore il giorno è lungo come la notte; 2.° i paesi tra il polo nord P e il circolo polare artico AA non hanno giorno; 3.° i paesi tra il polo sud *p* e il circolo polare antartico BB non hanno notte; 4.° i paesi fra i due circoli polari hanno la notte più lunga del giorno, o il giorno più lungo della notte, secondochè sono al nord o al sud dell'equatore, e le differenze di durata sono tanto più grandi quanto più grande è la latitudine boreale od australe dei luoghi.

280. *Influenza dell'atmosfera sulla lunghezza dei giorni.* L'atmosfera con la rifrazione dei raggi solari allunga di alcuni

Mano mano che il sole nel corso dell'anno si avanza verso l'equatore il circolo di illuminazione MM (fig. 165) va accostandosi ai poli, onde una parte ognor crescente del circolo polare artico riesce nella luce mentre una parte simile del circolo polare antartico si immerge nell'ombra. Così i paesi del primo circolo cominciano a vedere il giorno e quei del secondo la notte.

Giunto il sole all'equatore, il circolo di illuminazione (fig. 166) passa per

Fig. 165.

Fig. 166.

i poli, e però divide per metà tutti i paralleli; il giorno torna eguale alla notte in tutti i luoghi della terra.

Quando il sole comincia ad avere una declinazione boreale il polo sud cade nelle tenebre e il polo nord nella luce (fig. 167); quello ha notte senza giorno, questo ha giorno senza notte; negli altri luoghi varia diversamente la durata del giorno, ma all'equatore il giorno e la notte si conservano eguali.

Grado grado che il sole si avanza verso il tropico del cancro, crescono i luoghi circumpolari in cui il giorno o la notte sono assidui; quando il sole è giunto al tropico (fig. 168) tutto il paese tra il circolo polare artico e il

Fig. 167.

Fig. 168.

polo nord non ha notte, e tutto quello tra il circolo polare antartico e il polo sud non ha giorno. Le regioni tra i due circoli polari hanno il giorno più lungo o più breve della notte secondo che la loro latitudine è boreale od australe, e le differenze di durata sono tanto più grandi quanto più grande è la latitudine.

Nel ritornare che fa il sole dal tropico del cancro al tropico del capricorno si ripetono sulla terra le medesime condizioni qui discorse circa la durata del giorno ma in ordine inverso.

minuti le giornate, anticipando agli occhi nostri il sorgere e ritardando il tramontare del sole (§ 161). Per essa il sole quando è vicino all'orizzonte apparisce rialzato nei nostri climi d'un angolo di circa 33'; noi dunque la mattina cominciamo a vederlo che è ancora 33' sotto l'orizzonte, e la sera continuiamo a vederlo fin che non è disceso sotto l'orizzonte più di 33'. Ciò allunga le giornate di circa 9 minuti nei solstizi e di circa 7 negli equinozi. Nelle lunghezze di giorni citate di sopra, non entra questo effetto della rifrazione atmosferica; se ne tien conto bensì nel calcolo delle ore che nasce e che tramonta il sole, quali suolsi registrarle negli almanacchi.

Un altro modo per cui l'atmosfera prolunga in parte alla terra il beneficio della luce solare è quello dei crepuscoli (§ 188). La durata di un crepuscolo e la gradazione della sua vivezza nei successivi momenti dipende non solo dalla profondità a cui passa il sole sotto l'orizzonte ma anche dallo stato barometrico ed igrometrico dell'atmosfera. Ciò nondimeno si può dire in generale che ad aria pura la luce del crepuscolo è sensibile per tutto il tempo che il sole non è più basso di 18° sotto l'orizzonte. Di qui un computo approssimativo della sua durata. Il sole, veduto da un luogo dell'equatore al tempo degli equinozi, percorre nel moto diurno un cerchio che coincide con l'equatore celeste, cioè un cerchio perpendicolare all'orizzonte del luogo; per discendere a 18° sotto l'orizzonte deve dunque descrivere un arco di 18° sul suo cerchio diurno, e il crepuscolo dura per tutto il tempo che l'astro impiega a descrivere tale arco cioè 1 ora e 12 minuti. In altri luoghi e a declinazione diversa del sole, il crepuscolo dura di più, perchè il sole movendosi in un cerchio obbliquo all'orizzonte ha da fare più lungo viaggio per abbassarsi 18° sotto l'orizzonte. Ne' luoghi che passano un certo grado di latitudine il crepuscolo in alcuni tempi dell'anno dura tutta la notte, essendo che il sole dal cadere al risorgere non si abbassa oltre a 18°. Questo avviene già alla latitudine di Parigi (48°, 50') nel solstizio d'estate quando la declinazione del sole (in T fig. 158, pag. 83) è di 23°, 28' e però la sua distanza dal polo nord (TP) è di 66°, 32'. Infatti la profondità massima (T'o) a cui discende il sole sotto l'orizzonte, che è a mezzanotte, si ottiene levando dalla distanza (PT' = 66°, 32') che ha il sole dal polo l'altezza (Po) del polo sull'orizzonte di Parigi, cioè la latitudine (48°, 50') di quella città, e si trova tale profondità massima essere solo di 17°, 42'.

281. *Variazioni e differenze di temperatura sulla terra di-*

pendenti dal sole. Loro leggi generali. Lo strato d'aria in cui viviamo, essendo ben diatermico (§ 219), toglie pochissimo calore ai raggi di sole che lo attraversano; esso riceve il suo calore principalmente dal suolo che si riscalda a que' raggi. Vediamo da quali condizioni è regolata la temperatura del suolo. La superficie della terra irradia calorico di continuo verso il cielo, ecco una cagione di freddo, ma riceve calorico dal sole ad intervalli, ecco una cagione di caldo. La temperatura del suolo si abbassa o sale come la prima cagione vince la seconda o viceversa. Il calore che il suolo acquista dipende: 1.° dalla intensità dei raggi che vi battono, la quale varia con la distanza del sole e con la obbliquità di essi raggi; 2.° dalla durata della loro azione; 3.° dalle qualità del suolo relative al calore. Le differenze di queste tre condizioni inducono le differenze principali di temperatura fra i diversi tempi ed i diversi luoghi.

In quanto ai tempi le variazioni dell'angolo d'incidenza dei raggi sulla terra hanno in ogni luogo un periodo giornaliero ed un periodo annuo; di qui due periodi simili nell'ordine delle temperature.

282. *Periodo giornaliero delle temperature.* In ogni luogo l'obbliquità o l'angolo d'incidenza dei raggi dal sorgere del sole fino alla sua culminazione a mezzodì va di continuo diminuendo e da mezzodì fino al tramonto va crescendo. L'intensità dei raggi tiene un modo contrario, perchè al crescere della obbliquità non solo diminuisce la copia di raggi che incidono sulla unità di superficie, ma diminuisce anche la forza di questi raggi incidenti, in ragione del cammino più lungo nell'attraversare l'atmosfera, la quale, sebbene apparisca diatermica in brevi spazi, vedremo presto che assorbisce molto calore negli spazi grandi. L'effetto però dei raggi incidenti, che è il riscaldamento della superficie terrestre, non segue le variazioni della causa con prontezza; il massimo caldo della giornata non è al mezzodì quando i raggi solari essendo meno obbliqui hanno più forza, ma è tra un'ora e le tre pomeridiane; il freddo poi cresce tutta la notte e giunge al massimo poco prima che sorga il sole. La ragione sta in questo che il riscaldarsi e il raffreddarsi dei corpi non sono mutazioni che si compiano in un istante al variare delle influenze, ma ci vuole un certo spazio di tempo affinchè i corpi alla superficie del globo acquistino una temperatura e dopo acquistata la perdano. Così, venuto il mezzogiorno, sebbene la causa riscaldante cominci a

scemare, ella continua però ancora per qualche tempo ad accrescere l'effetto permanente dell'azione anteriore, compensando le perdite e mettendo qualche cosa di sopraggiunta, fino a che affievolitasi, non rende ai corpi nemmeno il calore ch'essi perdono, e solo allora comincia il raffreddamento, che prosegue finchè non ritorna l'influenza del sole.

283. *Periodo annuo delle temperature. Stagioni.* Il periodo annuo della temperatura è quello che dicesi anche delle stagioni, il quale proviene dalla inclinazione dell'asse della terra al piano della eclittica. In generale si chiama *primavera* la parte dell'anno in cui il giorno dall'essere lungo quanto la notte prende a crescere e va crescendo fino alla sua lunghezza massima, *estate* la parte in cui il giorno da questa lunghezza massima si riduce grado grado ad essere lungo di nuovo come la notte, *autunno* la parte in che il giorno va facendosi più breve della notte fino ad avere la lunghezza minima, *inverno* la residua parte dell'anno quando il giorno dalla sua minima durata va crescendo finchè pareggia da capo la notte. Nell'emisfero settentrionale della terra è dunque primavera nel tempo che va crescendo la declinazione settentrionale del sole, estate nel tempo ch'essa va diminuendo, autunno quando cresce la declinazione meridionale, inverno quando questa diminuisce. Nell' emisfero meridionale si ha l'autunno e l'inverno mentre nel settentrionale si ha la primavera e l'estate, e viceversa. È evidente che se l'asse della terra fosse perpendicolare al piano dell'eclittica non vi sarebbe varietà di stagioni.

L'eccentricità dell'eclittica (§ 275) e insieme l'ineguaglianza del moto del sole (§ 272) fanno che le quattro stagioni non abbiano lunghezze uguali. Adesso nell'emisfero settentrionale la primavera conta 92^g, 20^{or}, 59^m; l'estate 93^g, 14^{or}, 13^m; l'autunno 89^g, 18^{or}, 35^m; l'inverno 89^g, 0^{or}, 2^m. La durata complessiva della primavera e della state è 186^g, 14^{or}, 12^m; quella dell'autunno e dell'inverno 178^g, 18^{or}, 37^m. Il sole dunque dimora ciascun anno quasi 8 giorni dippiù nell'emisfero boreale che nell'australe.

Coll'andare dei secoli questi numeri variano un poco per effetto delle mutazioni lentissime a cui è soggetta l'eclittica. Infatti le durate delle quattro stagioni sono gli spazi di tempo consumati dal sole a percorrere le singole parti in cui è divisa l'elisse dell'eclittica dalla linea degli equinozi e dalla linea dei solstizi; quindi si vede bene che la durata delle singole stagioni dee variare al variare della posizione della elisse rispetto

a queste linee in relazione alle velocità diverse del sole nelle diverse parti di essa. La lunghezza delle quattro stagioni si muta dunque nel processo dei secoli perchè viene a variare la disposizione del grand'asse dell'eclittica rispetto agli equinozi ed ai solstizi, sì per il moto retrogrado dei punti equinoziali e sì per il moto proprio del grand'asse medesimo. Risalendo il corso dei secoli si trova certe congiunture che dovettero indurre nella durata delle stagioni alcune singolarità. Nell'anno 1250 dell'Era nostra il grande asse (AP, fig. 160) dell'eclittica coincideva con la linea dei solstizi (RS), così che il perigeo (S) del sole aveva la stessa longitudine del punto solstiziale d'inverno; a quel tempo la primavera dovè essere lunga quanto l'estate, l'autunno quanto l'inverno. E andando più indietro, supposto che il moto del perigeo del sole abbia sempre avuto la medesima velocità, si trova che il perigeo ebbe la stessa longitudine del punto equinoziale d'autunno (E) verso l'anno 4000 avanti G. C., cioè nel tempo della creazione del mondo; allora la durata complessiva della primavera e della state dovè uguagliare quella dell'autunno e dell'inverno.

Nei nostri paesi la forza riscaldante del sole, in quanto dipende dall'obbliquità dei raggi, cresce dal solstizio d'inverno fino al solstizio d'estate, e va diminuendo poi da questo a quello; ed anche la durata della sua azione, cioè la lunghezza del giorno tiene la medesima regola. Ma il periodo annuo che ne risulta delle temperature offre ingrandito l'esempio già veduto nel periodo giornaliero (§ 282) che il massimo dell'effetto riesce posteriore al massimo della causa. La qual cosa ci portò a dare alle stagioni quel collocamento che abbiam dato ad esse in rispondenza alle situazioni del sole nell'eclittica. Se il massimo calore nell'anno e il massimo freddo cadessero nei tempi che la potenza dei raggi solari e insieme la durata della loro azione giornaliera massima o minima, sarebbe stato mestieri collocare in essi tempi, cioè nei solstizi, non il principio ma il mezzo della state e dell'inverno. Il fatto è invece che il caldo maggiore ci viene circa un mese dopo il solstizio estivo e il freddo più pungente circa un mese dopo il solstizio invernale, perchè nel primo caso la virtù solare, oltrepassato il suo massimo, prosiegue ancora per qualche tempo a rintegrare dalle perdite e ad accrescere l'effetto prodotto coll'azione anteriore, e nel secondo caso il raffreddamento continua qualche tempo anche dopo che la virtù solare, pervenuta al suo minimo, va ricrescendo, cioè continua fino al punto ch'ella è tanto cre-

sciuta e si è già resa tanto effettiva nei corpi da compensarvi le perdite di calore. Non sarebbe dunque giusto di mettere il cuore dell'inverno e quello della state nei due solstizi, bisogna metterli dopo. D'altra parte siccome il massimo caldo dell'anno e il massimo freddo e le temperature medie non cadono proprio negli stessi tempi nei varii paesi del medesimo emisfero, ma per condizioni locali cadono in tempi alquanto diversi, così non è possibile di assegnare per tutti quei paesi gli stessi tempi come punti di principio delle diverse stagioni pigliando norma dalla sola temperatura dei luoghi. Queste considerazioni ci persuasero di prendere quali cominciamenti delle stagioni gli equinozi e i solstizi, affinchè in ogni luogo tali cominciamenti coincidessero almeno con fenomeni astronomici fissi.

L'intensità dei raggi solari nel corso dell'anno dee dipendere non solo dall'angolo di loro incidenza ma anche dalla diversa distanza del sole. Nell' inverno del nostro emisfero, quando i raggi meridiani ci pervengono con la massima obbliquità, il sole si trova più prossimo alla terra che nella state quando i raggi sono meno obbliqui (§ 275), ma la differenza della distanza del sole è a gran pezza minore di quella che ci vorrebbe a compensare l'effetto della differenza di obbliquità dei raggi, e così rimane freddo l'inverno e calda l'estate sebbene il sole sia meno lontano dalla terra in quella stagione che in questa.

Dalle variazioni delle temperature terrestri nel tempo passiamo alle differenze delle temperature nei diversi luoghi.

284. *Differenze di temperatura nelle cinque zone della terra.* Nei paesi fra i tropici i raggi del sole meridiano battono quasi perpendicolari alla superficie terrestre, e però ivi la quantità di raggi che cade su d'una certa misura di superficie è press' a poco la quantità massima che vi può cadere, e il suolo, e quindi l'aria, ne vengono riscaldati più che negli altri paesi. Inoltre il tempo che dura il sole sull'orizzonte, cioè la lunghezza del giorno fisico, varia ben poco, e però anche la differenza tra la temperatura massima e la minima in 24 ore è piccola, di 4° o 6° C. al più.

I paesi dai tropici ai circoli polari hanno temperie più dolce di cielo per la maggiore obbliquità dei raggi solari. Qui la lunghezza dei giorni varia di più nel corso dell'anno, e però anche la differenza tra la temperatura massima e la minima in 24 ore è più sensibile che sotto l'equatore, va fino a 12° o 15° C.

Nelle parti che sono al di là dei circoli polari i raggi del sole vengono ad avere direzione molto obbliqua alla superficie

terrestre, e il suolo e l'aria si riscaldano poco. Inoltre in quelle parti la temperatura incrudisce durante le lunghissime notti.

Per queste differenze di calore la zona fra i due tropici si chiama *zona torrida;* le due fra i tropici e i circoli polari si chiamano *zone temperate,* e quelle dai circoli polari ai poli *zone fredde* o *glaciali.*

Si usa dire che sotto l'equatore non v'è che due sorta di stagioni all'anno, dando al nome stagione il significato volgare di un certo grado medio di calore: l'una sorta di stagione dagli equinozi ai solstizi ed è la più cocente, l'altra dai solstizi agli equinozi.

Quei paesi delle zone temperate che confinano con la zona torrida partecipano alquanto delle condizioni termiche di questa zona; essi (come si dice, ritenuto il senso volgare di stagione) non hanno inverno che mortifichi il rigoglio delle piante. Al contrario nei paesi vicini alle zone fredde l'inverno predomina e copre la primavera. Nelle zone fredde poi l'anno si divide in una breve estate ed un inverno lungo e crudo, anzi nelle parti vicine ai poli, benchè il giorno duri per mesi, il sole non può liquefare tutto il ghiaccio; ivi regna un inverno perpetuo.

285. *Influenza delle condizioni del suolo nelle temperature dei paesi. Clima.* Le qualità del suolo hanno grande influenza nella temperatura di un paese. Se il suolo avesse dappertutto una medesima facilità di riscaldarsi e di raffreddarsi, la temperatura sua, e però anche quella degli strati più bassi dell'atmosfera, dipenderebbe solo dalla latitudine e sarebbe uguale in tutti i luoghi di latitudine uguale; ma è ben altrimenti. La superficie delle acque si riscalda ai raggi del sole meno che la superficie solida della terra, e nella notte si raffredda pur meno. Ciò dipende in gran parte dalla mobilità dei liquidi, le cui molecole vengono rimescolate senza posa fino ad una certa profondità dalle correnti che si formano per le densità diverse e dall'ondeggiare continuo. Lo strato superficiale dell'acqua nel giorno si riscalda meno perchè evapora e perchè il mareggio lo va rimutando, nella notte si raffredda meno perchè nel raffreddarsi si contrae e però andrebbe presto di sotto se non fosse il lavorio delle onde a mischiarlo di continuo con gli strati vicini. Così la temperatura nella parte liquida della superficie terrestre nè si eleva nè si abbassa a quel segno che nella solida, perchè il caldo e il freddo vi si diffondono in uno

strato più grosso. E l'aria segue da presso le vicende del suolo. Perciò in alto mare le variazioni giornaliere della temperatura dell'aria sono minori che in paese mediterraneo; per esempio, nei mari dell'equatore la differenza tra il massimo caldo e il minimo della giornata è di uno o due gradi centigradi, mentre nei continenti è, come si disse di cinque o sei, e nelle regioni temperate, fra 25° e 50° di latitudine, è in alto mare non più di due o tre gradi, mentre nei continenti sale a ben dodici o quindici.

Anche le variazioni annue di temperatura sono per la medesima ragione più piccole in mare che nell' interno dei continenti; e così nelle isole e sulle coste le stati son meno calde e gl' inverni men rigidi; l'Europa, che tanti mari abbracciano, è più temperata del grande continente asiatico a pari latitudine. Se un continente da una zona temperata si prolunga o dentro la zona torrida o dentro una fredda, ritrae molto dalle condizioni di essa; ed è questa un'altra ragione per cui l'Europa, a latitudine pari, è meglio temperata dell'Asia e dell'America le quali si spingono tanto innanzi verso il nord.

La terra ferma si riscalda maggiormente dove è nuda e sabbiosa che dove coltivata o coperta di piante. Ciò aggiunge non poco al calore ardente dei deserti dell'Africa e al freddo della selvosa America settentrionale.

Nelle alture i paesi perdono facilmente il calore per irradiazione senza molto comunicarne a quell'aria rara, e sono esposti ai venti, alle pioggie, ai temporali più che al basso, onde sono anche più freddi. In ogni zona la temperatura del suolo digrada mano mano che si ascende sui monti; e si può salire a tale un'altezza dove si abbia la temperatura della più grande latitudine geografica. Siccome il prosperare di uno od altro genere di piante dipende, a pari qualità del suolo, dalla temperatura media dell'anno, o meglio da quella del mese più caldo, così a salire un alto monte si incontrano successivamente le stesse differenze di vegetazione che a viaggiare per un meridiano verso il nord.

Per le cose dette si vede che quella condizione di temperatura e di atmosferiche vicende che regna durante l'anno in un paese, e che noi chiamiamo il *clima* del paese, è un effetto molto composto. Il clima ripete la natura sua non solo dalla latitudine geografica ma anche insieme dalla qualità del suolo, dalla vicinanza di grandi masse d'acqua o di estesi continenti, dalla elevazione sul livello del mare, da quella esposizione ri-

spetto ai punti cardinali dell'orizzonte e da quegli accidenti del terreno che formano riparo oppure danno campo più o meno aperto ai venti, alle pioggie, ai temporali.

Non sia discaro se aggiungo poche parole intorno alle regioni polari del nord, giusta il racconto del capitano Scoresby che fece dodici viaggi in quei mari pieni di pericoli (1).

Scoresby vide spesso formarsi il ghiaccio in aperto mare a 20 leghe dalle coste. Quando compajono i primi aghi cristallini, il mare si acqueta e si spiana come vi fosse versato sopra dell'olio; gli aghi crescono subito a 3 o 4 pollici di grossezza, e allora se il freddo persiste cominciano a rappigliarsi insieme e compongono falde di ghiaccio più o meno larghe che in poco d'ora s'ingrossano a più di un piede.

Alle coste dello Spitzberg e della Groenlandia i ghiacci sono grossi d'ordinario da 20 a 25 piedi; formano spesso certe vaste pianure che a guardarle pur dalla cima delle antenne appariscono senza confine. Questi campi di ghiaccio, grandi ben 300 o 400 leghe quadrate, hanno talvolta la superficie piana, che una carrozza vi potrebbe correre un 30 o 40 leghe senza trovare intoppo; ma talvolta la superficie è ronchiosa e diseguale, sparsa di poggetti e di colonne alte 20, 30 piedi che fanno pittoresca la veduta, sia che brillino del verde azzurrino di topazio, sia che vi posi la neve sulle cime e sui fianchi in mille fogge svariatissime.

Un campo di ghiaccio tutto ad un tratto si rompe in massi da 100 o 200 metri quadrati, o lo spezzi la spinta delle acque coperte, che siano premute dal di fuori, o lo spezzi il flagello delle onde o qual'altra violenta cagione. I massi, ora si urtano l'un l'altro e si disperdono, ora vengono tutti raccolti e trasportati da una corrente; e se nel furioso viaggio incontrano i massi d'un altro campo menati da una corrente opposta è un cozzo di montagne di ghiaccio, una rovina, un fracasso pien di spavento. Guai alla nave che vi fosse colta in mezzo! ne sarebbe stritolata come fragile guscio; e già si contano parecchi di questa fatta naufragi.

Il mar glaciale viene aperto al navigante dalle dette correnti che, dopo trasportati fuori i massi di ghiaccio, concedono alle navi un canale per cui si può salire alle latitudini di 70° o 80°, ordinaria stanza delle balene.

(1) Pouillet. *Elemens de Physique*, etc. Sixième edition Paris 1853. T. II, pag. 669.

Egli è vero che nell'urtarsi alcune montagne di ghiaccio si frangono e cadono quasi in polvere, ma di continuo si formano altre montagne, perciocchè i massi, lievati dalle onde e cullati, ricadono gli uni sugli altri e si appiccano molti insieme e si coprono di pezzi più o men grossi a comporre montagne vere, che sporgono dalle acque per 10 o 15 metri. D'ordinario la parte che sporge è solo un quarto dell'altezza intera; queste montagne dunque sono alte da 40 a 60 metri.

Qualche volta accade che tavole di ghiaccio lunghe 30 o 40 metri sono, dai massi che le gravano sui due capi, tenute come in bilico sott'acqua a tale profondità che un bastimento vi può passare di sopra; e allora si corre grave pericolo: se un piccol urto rompe l'equilibrio dei massi che tengono giù la tavola, questa viene a galla con tanto impeto da lanciare in aria il bastimento o per lo meno stravolgerlo.

Nella baja di Baffin vanno in volta montagne di ghiaccio che sorgono dall'acqua meglio di 30 o 40 metri, onde l'altezza totale torna fino a 200 metri. Pare che si formino e crescano sulle coste ove fanno siepe ai fiumi in sulla foce, e vengano quindi staccate dalla pressione delle acque o da altro; e invero lungo quelle coste si vedono montagne di ghiaccio che portano altissime a picco le creste azzurre trasparenti. Nella stagione del sole dall'alto di questi gioghi scorrono le acque per lo dirupato de' fianchi a magnifiche cascate nel mare; quando le coglie il gelo è uno stupendo spettacolo, ma il navigante lo contempla da lungi, chè in un batter di ciglio tutte le colonne e gli archi maestosi di ghiaccio sospesi nell'aria si rompono con orrendo scroscio e rovinano giù.

Presso la costa occidentale dello Spitzberg il mare non è molto profondo; se ne misura in certo modo l'altezza nella caccia delle balene, le quali ferite a morte piombano al fondo velocissime, portando infisso il graffio e tirando seco la fune, poi tornano a galla intrise di limo a dare l'ultimo fiato; la lunghezza della fune così immersa è la misura della profondità delle acque, e si trova di 1000 a 1200 metri.

286. *Quantità di calore che il nostro globo riceve dal sole. Porzione di questo calore assorbita dall'atmosfera.* Pouillet fece molte esperienze per misurare la quantità di calore che il sole comunica al nostro globo. L'apparecchio adoperato, ch'egli chiama *pireliometro* (πῦρ fuoco, Ἥλιος sole), è così: una scatola cilindrica di foglia sottilissima d'argento, annerita di fuori e contenente 100 grammi d'acqua, si regge ai sostegni in guisa

che può essere volta a ricevere perpendicolari sopra una delle due basi i raggi del sole, qualunque sia l'altezza dell'astro sull'orizzonte: un movimento della scatola intorno al suo asse va agitando l'acqua perchè si scaldi uniforme in tutta la massa; un termometro immerso nell'acqua sporge il cannello a mostrarne la temperatura. Nelle esperienze si tiene questo modo: la scatola con entro l'acqua alla temperatura dell'ambiente si pone all'ombra, ma vicinissimo al luogo dove riceverà poi i raggi solari, e la si orienta che prospetti uno spazio di cielo pari a quello che prospetterà al sole; ivi per 4 minuti si osserva, minuto per minuto, di quanto si raffredda o si riscalda; nel quinto minuto la si colloca dietro uno schermo così disposto che, tolto questo, i raggi del sole vi incidano perpendicolari. Alla fine del quinto minuto lo schermo si toglie; nei 5 minuti successivi, agitata l'acqua di continuo, si nota di minuto in minuto il riscaldamento che va rapidissimo. Dopo si rimette lo schermo, si ritira l'apparecchio nella posizione di prima, e per altri 5 minuti si osserva il digradare della sua temperatura. Le osservazioni così condotte valgono a conoscere l'effetto calorifico finale dei raggi solari nei 5 minuti della esposizione e a rintegrarlo della perdita che l'apparecchio fa durante quel tempo per irradiazione.

Si trova che l'effetto calorifico è diverso nelle diverse ore del medesimo giorno; è massimo al mezzodì, e tanto più piccolo nelle altre ore quanto più esse distano dal mezzodì. Se come il sole si abbassa, cioè come diventa più lungo il cammino dei raggi nell'atmosfera, le perdite di calore in questo mezzo crescono, vuol dire che l'aria, sebbene sia sensibilmente diatermica in uno strato poco grosso (§ 219), non è più tale quando si prende a larghissimi spazi.

Per giungere a sapere quanto calorico batte dal sole al nostro globo e quanta parte ne assorbisce l'atmosfera, Pouillet faceva in uno stesso giorno, il quale fosse ben sereno, una serie di osservazioni, cominciando a mezzodì o in un'ora vicina, e ripetendo la prova in ciascuna delle 5 o 6 ore successive. Dopo raccolte in più anni molte serie di tali osservazioni giornaliere, compose una formola empirica che rappresenta assai bene l'effetto calorifico ottenuto in ciascuna prova. La tavola seguente mostra come la formola si addica ad ogni osservazione.

Ore dell'osservazione	Spazi atmosferici percorsi dai raggi, presa per unità l'altezza dell'atmosfera	Riscaldamenti osservati al pireliometro	Riscaldamenti calcolati con la formola	Differenze
Osservazioni del 28 Giugno 1837.				
7or,30'	1,860	3°,80	3°,69	+ 0,11
10, 30'	1,164	4°,00	4°,62	— 0,62
mezzodì	1,107	4°,70	4°,70	0,
1or, ...	1,132	4°,65	4°,67	— 0,02
2, ...	1,216	4°,60	4°,54	+ 0,06
3, ...	1,370	»	4°,32	»
4, ...	1,648	4°,00	3°,95	+ 0,05
5, ...	2,151	»	3°,36	»
6, ...	3,165	2°,40	2°,42	— 0,02
Osservazioni del 27 Luglio 1837.				
mezzodì	1,147	4°,90	4°,90	0,
1or, ...	1,174	4°,85	4°,86	— 0,01
2, ...	1,266	4°,75	4°,74	+ 0,01
3, ...	1,444	4°,50	4°,51	— 0,01
4, ...	1,764	4°,10	4°,13	— 0,03
5, ...	2,174	3°,50	3°,49	+ 0,01
6, ...	3,702	3°,35	3°,42	— 0,07
Osservazioni del 22 Settembre 1837.				
mezzodì	1,507	4°,60	4°,60	0,
1or, ...	1,559	4,°50	4°,54	— 0,04
2, ...	1,723	4,°30	4°,36	— 0,06
3, ...	2,102	4°,00	3°,97	+ 0,03
4, ...	2,898	3°,10	3°,24	— 0,14
5, ...	4,992	»	1°,91	»
Osservazioni del 4 Maggio 1848.				
mezzodì	1,191	4°,80	4°,80	0,
1or, ...	1,223	4°,70	4°,76	— 0,06
2, ...	1,325	4°,60	4°,62	— 0,02
3, ...	1,529	4°,30	4°,36	— 0,06
4, ...	1,912	3°,90	3°,92	— 0,02
5, ...	2,603	3°,20	3°,22	— 0,02
6, ...	4,311	1°,95	1°,94	+ 0,01

È veramente maraviglioso l'accordo tra il riscaldamento effettivo e quello calcolato in tutti casi, anche quando gli spazi percorsi dai raggi nell'atmosfera sono resi quadrupli dalla obbliquità del cammino. Per esempio nelle osservazioni del 4 maggio, supposto che l'altezza dell'atmosfera sia $^1/_{80}$ del raggio medio della terra, i raggi solari al mezzodì correvano per l'atmosfera circa 24 leghe, e alle 6 pomeridiane circa 86 leghe, eppure la formola risponde bene del pari in ambedue i casi.

La formola è così fatta che esibisce distinti: 1.° la misura del calorico incidente perpendicolare su d' una certa unità di superficie al confine esterno della nostra atmosfera, la quale quantità di calorico si trova che rimane costante in ogni tempo, e 2.° il valore della frazione di esso calorico che giunge alla terra attraverso dell'atmosfera nei giorni sereni, la quale frazione riesce variabile per due modi, l'uno irregolare e dipende dalla diatermasia variabile dell'atmosfera, l'altro con legge e dipende dalla lunghezza diversa del cammino dei raggi nell'aria alle diverse altezze del sole sull'orizzonte. La frazione complementare di codesta frazione trasmessa è la misura del calore che viene assorbito dall'atmosfera (1).

(1) Per chi ama vedere l'andamento del calcolo valga questa nota in cui si prende la cosa dal principio.

Sia g il riscaldamento al quale è salito il pireliometro nei 5 minuti che lo percossero i dardi solari, r, r' i raffreddamenti a cui venne durante i 5 minuti anteriori e i 5 minuti posteriori; se nei primi 5 minuti v' è riscaldamento, r sarà negativa. L' elevazione di temperatura indotta dal calore del sole è $g+\frac{(r+r')}{2}$; chiamiamola t. È chiaro che le osservazioni anteriore e posteriore a quelle dell' effetto solare sono istituite per avere la quantità $\frac{(r+r')}{2}$ da aggiungere a g affinchè il valore di t non riesca scemato dalle perdite che fa l'apparecchio per irradiazione nei 5 minuti che sta al sole.

Cerchiamo la quantità di calorico ricevuta in un minuto da ciascun centimetro quadrato di superficie esposta al sole. Sia d centimetri il diametro della scatola, p grammi il peso dell' acqua contenuta, p' il peso proprio della scatola e della parte immersa del termometro, ridotto questo peso a quel che sarebbe per un calorico specifico uguale all'unità, cioè uguale al calorico specifico dell' acqua. Alla elevazione di temperatura t corrisponde la quantità di calorico $t\,(p+p')$ calorie. Siccome questo calorico fu ricevuto in 5 minuti dalla superficie $\frac{\pi d^2}{4}$, così ciascuna unità di superficie, ossia ciascun centimetro quadrato, ricevette $\frac{4\,(p+p')}{\pi d^2}\,t$ calorie nei 5 minuti, e $\frac{4\,(p+p')}{5\,\pi d^2}\,t$ calorie in un minuto. Per l'apparecchio adoperato da Pouillet tale quantità, fatte le sostituzioni e i calcoli, era $0{,}2624\,t$ calorie.

Ecco ora i risultamenti numerici delle osservazioni. La quantità di calore che il sole versa in un minuto su d' un centi-

Pouillet, bilanciata insieme per ciascuna prova l'elevazione di temperatura osservata e la lunghezza del cammino dei raggi attraverso dell' atmosfera, vide potersi tutte le prove stringere nella formola

$$t = s a^{\varepsilon} ,$$

in cui s ed a sono due costanti ed ε è lo spazio atmosferico percorso dai raggi, presa per unità l'altezza dell'atmosfera. Con due osservazioni fatte in un medesimo giorno si trovano sperimentalmente due coppie di valori di t e di ε, che poste nella formola danno due equazioni con le quali si determinano i valori delle due costanti s ed a. Ora succede che il valore di s, trovato a questo modo con due osservazioni di uno stesso giorno, si mantiene sempre il medesimo per tutte le osservazioni degli altri giorni, e che il valore di a, costante d' ordinario in un medesimo giorno che duri sempre egualmente sereno, è poi alquanto diverso da un giorno all'altro. Così s è una costante fissa, indipendente dallo stato dell'atmosfera, ed a una quantità che solo è costante per uno stesso giorno e che varia da un giorno all'altro come varia il sereno dell'atmosfera: dunque nella formola, s è la *costante solare*, ella contiene quale elemento essenziale la potenza calorifica costante del sole; a invece è la *costante atmosferica*, quella che contiene come elemento essenziale la diatermasia variabile dell' atmosfera, per cui passa alla superficie della terra una parte più o men grande del calorico solare incidente.

Se nella formola si pone $\varepsilon = 0$ si trova $t = 6^{o} 72$, la quale dice che il pireliometro di Pouillet si scalderebbe di $6^{o},72$ se l'atmosfera trasmettesse il calore solare tutto quanto senza assorbirne raggio, o se lo stromento si potesse trasportare sull'ultimo confine dell'atmosfera a ricevere intero il calore che vi piove dal sole. La quantità di calore che il sole versa in un minuto su d' un centimetro quadrato al confine dell'atmosfera, e che il sole verserebbe del pari alla superficie della terra se l'atmosfera non ne assorbisse, è dunque $0,2624 \times 6,72 = 1,7633$ calorie.

Con questo dato si computa di leggieri la totale quantità di calore che batte alla terra in ciascun minuto: è la quantità che inciderebbe sul cerchio di illuminazione se fosse tolto via l'emisfero illuminato insieme e riscaldato dal sole. Detto r centimetri il raggio medio della terra, la superficie di codesto cerchio è πr^2, dunque la quantità di calore che vi cade è $1,7633 \pi r^2$. Se questo calore venisse a diffondersi uniforme su tutta la superficie terrestre ne toccherebbe ad ogni centimetro quadrato $\frac{1,7633 \pi r^2}{4 \pi r^2}$ ossia 0,4408 calorie al minuto. Quindi si computa che nel giro di un anno la quantità di calore che la terra ha dal sole è quale sarebbe se in un anno entrassero per ogni centimetro quadrato della superficie estrema dell'atmosfera 231675 calorie.

Facciamoci ora all'assorbimento effettuato dall'atmosfera. I valori di a dati dalla esperienza nei diversi giorni indicano le frazioni del calore solare incidente che sono trasmesse dall'atmosfera alla terra; i valori di $1 - a$ indicheranno le frazioni complementarie di calore che sono assorbite dall'atmosfera nei medesimi giorni. Ecco le coppie di questi valori ottenuti da Pouillet nei giorni delle esperienze registrate nella tavola surriferita.

Giorni	Valori di a	Valori di $1 - a$
28 Giugno	0,7244	0,2756
27 Luglio	0,7585	0,2415
22 Settembre	0,7780	0,2220
4 Maggio	0,7556	0,2444
Solstizio d'Inverno	0,7488	0,2512.

metro quadrato perpendicolare ai raggi nel confine esterno dell'atmosfera è di 1,7633 calorie. Se tutto il calore così versato sul globo venisse a diffondersi uniforme sulla intera superficie della terra ogni centimetro quadrato di questa ne toccherebbe 0,4408 calorie al minuto, o 231675 calorie all'anno. È tanta copia, che se fosse data senza perdita a fondere ghiaccio, basterebbe a fonderne uno strato che involgesse tutta la terra, grosso $30^{m},89$ o circa 31 metri.

La parte di questo calorico che viene assorbita dal corpo dell'atmosfera a ciel sereno è da 0,5 a 0,4, cioè poco meno della metà; l'altra metà arriva alla superficie della terra e vi si distribuisce inegualmente, giusta le obbliquità diverse del suo tragitto per l'atmosfera.

287. *Temperatura dello spazio.* Molte osservazioni dimostrano che il raffreddamento notturno dei corpi esposti a libero cielo (§ 251) cresce dal tramontare del sole fino al sorgere di esso; così avviene in conseguenza dei reciproci scambi di calorico (§ 224) tra i corpi e la cerchia cosmica della superficie terrestre, la cerchia composta dell'inviluppo atmosferico e dell'immenso spazio al di là. L'effetto calorifico di questa cerchia per un dato luogo della terra dev'essere rappresentato da due termini che si sommano insieme: l'uno dipendente dalla temperatura media della colonna atmosferica, il quale sarà variabile, l'altro dipendente dalla temperatura dello spazio, il quale termine sarà fisso. Il fatto che il raffreddamento notturno dei corpi riceve nel corso della medesima notte mutazioni piut-

Si avverta che tali valori di a e di $1 - a$ corrispondono ad $\varepsilon = 1$, cioè rappresentano le proporzioni di calore che sarebbero trasmesse ed assorbite quando il sole fosse allo zenit. È manifesto che nel tragitto verticale dei raggi l'atmosfera assorbisce dai $\frac{22}{100}$ ai $\frac{27}{100}$ del calorico incidente Pouillet, considerando che nel giorno 28 giugno in cui si ebbe l'assorbimento massimo di $\frac{27}{100}$ si vedeva un tenue velo bianchiccio nel cielo, e che altre volte si trovò un assorbimento di soli $\frac{18}{100}$, riduce a $\frac{18}{100}$ e $\frac{25}{100}$ i due limiti fra i quali è compreso l'assorbimento di calorico effettuato dall'atmosfera a limpido cielo.

Col mezzo di questo dato e della legge con cui diminuisce il calorico trasmesso nel crescere della obbliquità, si può calcolare in che ragione sta il calorico incidente che batte in ogni istante all'emisfero illuminato della terra con la parte che rimane assorbita nella metà corrispondente dell'atmosfera. Il calcolo trova che, ritenuto $a = 0,75$, la parte che giunge per l'atmosfera alla superficie della terra è da 0,5 a 0,6, più prossima a 0,6; dal che si deduce che la parte assorbita dall'atmosfera è da 05, a 0,4, e più prossima a 0,4.

tosto grandi, il cui valore è talvolta di 9° C., attesta che il termine fisso è piccolissimo in confronto del variabile; bisogna dunque dire che di notte il calorico irradiato verso i corpi terrestri dallo spazio è piccolissimo rispetto a quello irradiato verso di loro dall'atmosfera, e quindi inferire che la temperatura dello spazio è molto bassa. Tale illazione è confortata anche da ciò che l'effetto dell'irradiamento notturno si riproduce quasi con la medesima intensità nella state e nell'inverno, nei paesi caldi e nei freddi; e invero se le differenze della temperatura terrestre non valgono a modificare gran fatto l'influsso frigorifico dello spazio, è segno che la temperatura dello spazio è di tanti gradi sotto zero da rendere quasi insensibile nella irradiazione notturna l'effetto di codeste differenze (1).

Pouillet con una serie di considerazioni e di calcoli, che non hanno ancora, per giudizio di lui medesimo, un appoggio abbastanza fermo nella esperienza, ha tentato di sceverare, nel fatto complesso del raffreddamento notturno dei corpi, le influenze dello spazio da quelle dell'atmosfera, e trovò che l'atmosfera assorbisce $^9/_{10}$ del calorico mandato dalla terra, e che la temperatura dello spazio è ora di circa — 142° C.

Con questo dato si valuta la quantità totale di calore che lo spazio somministra in un anno alla terra e all'atmosfera, e si trova ch'ella sarebbe capace di fondere uno strato di ghiaccio che coprisse la terra, grosso 26 metri (2). Non occorre dire che a tale ufficio la quantità di calore s'intende trasportata sulla scala termometrica al di sopra del punto di fusione del ghiaccio. Abbiamo veduto che il sole basta a fondere sulla terra in un anno uno strato di ghiaccio grosso 31 metri (§ 286); dunque la terra in un anno riceve dallo spazio e dal sole il calore che potrebbe fondere uno strato di ghiaccio che vi fosse

(1) Poichè la differenza tra le temperature di due termometri esposti di notte liberamente, l'uno vicinissimo al suolo fra le cime dell'erba, e l'altro qualche piede più alto, differenza che può salire fino ad 8° o 10° (§ 231, 8°), è press' a poco la medesima tanto se la temperatura del luogo è a + 10° quanto se è a — 10° (§ 231, 7°), conviene che la virtù refrigerante che in quest'ultimo caso riduce e mantiene il primo termometro, per esempio a — 18°, abbia la medesima forza che quando nell'altro caso riduce e mantiene quel termometro a + 2°; e siccome codesta virtù refrigerante dipende dalla temperatura dello spazio, si argomenta che la temperatura dello spazio debb' essere molto più bassa di — 18°, perciocchè se fosse a solo — 30° o — 40°, il termometro che è a — 18°, mentre il luogo è a — 10°, avrebbe una temperatura già troppo vicina a quella dello spazio perchè il calore dello spazio potesse mantenerla al di sotto della temperatura del luogo appunto di 8°, come quando l'aria è a + 10° e il termometro discende a + 2°.

(2) *Comptes rendus de l'Academie des sciences.* Juillet 1838.

alto 57 metri. Parrà strano che lo spazio, con la sua temperatura di 142° sotto zero, possa dare alla terra una quantità di calore che è quasi come quella che ci viene dal sole, ma vuolsi por mente che il sole rispetto alla terra non occupa che $^1/_{200000}$ della vôlta celeste e che quindi il sole a produrre lo stesso effetto che lo spazio deve, a pari superficie visibile, mandare una quantità di calòrico 200000 volte più grande.

Se il sole si spegnesse, la temperatura diventerebbe uniforme su tutta la faccia della terra, non però di — 142°, ma di circa — 89° in grazia del potere assorbente dell'atmosfera. Siccome la temperatura media dell'equatore è di + 27°,5, così la presenza del sole aumenta la temperatura della zona equatoriale di 89 + 27,5 = 116°,5. Nè molto minore di questo è l'effetto della temperatura dello spazio.

Dunque se avesse a mancare alla terra il raggio del sole, impietriti gli umori, tacerebbe ogni moto della vita presente; e se avesse a mancare il calore dello spazio, la virtù del sole più non basterebbe a tener viva questa bella famiglia di erbe e di animali. Ma forse che allora altri fluidi sarebbero qui ministri di vita ad altri esseri. Credere che sia assolutamente disastroso in natura ciò che impedisce od estingue un ordine attuale di fenomeni è concetto meschino. Si ammiri la possa, l'economia, la bellezza della natura nelle opere che in questa ora e in questo angolo ci è dato di scorgere, il che può pure condurci a qualche utile avvedimento, ma non si presuma che in altre condizioni le forze naturali abbiano a tornare infeconde o sgraziate. Chi di noi vuol arrogarsi di piantare nell'universo il segno ultimo del possibile?

288. *Potenza calorifica totale del sole.* La notizia della quantità di calore che il sole manda alla terra basta a misurare la potenza calorifica dell'intiero globo del sole, cioè a computare quanto calore questo valga a diffondere in un certo tempo, supponendo che la virtù calefacente sia uguale in ogni parte della superficie sua (1). Si trova che ciascun centimetro

(1) Si riguardi il centro del sole come centro d'una sfera cava il cui raggio sia la distanza media, d centimetri, del sole dalla terra: su ciascun centimetro quadrato della superficie di questa sfera cade in un minuto tanto calore quanto ne cade sur un centimetro quadrato della superficie terrestre, cioè 1,7633 calorie; dunque la somma del calore che vi cade si ottiene moltiplicando 1,7633 per il numero di centimetri che compongono la superficie di quella sfera, cioè per $4\pi d^2$. Questo calore incidente è appunto la somma delle quantità di calore irradiate in tutte le direzioni dal globo intiero del sole, vale a dire da una superficie $4\pi r^2$, dove r è il raggio del sole. Così

quadrato della superficie solare irradia in un minuto 84888 calorie, tanto che il calore irradiato dalla superficie intera in un minuto basterebbe a fondere uno strato di ghiaccio che involgesse tutto il globo del sole e fosse grosso $11^m,80$, e in un giorno uno strato che fosse grosso 16992 metri, ossia 4 leghe e $^1/_4$.

289. *Macchie solari. Moto rotatorio del sole.* La virtù calorifica del sole è poi essa uguale in ogni parte della superficie dell'astro, o è diversa nelle diverse parti? Questa domanda ci volge a considerare la costituzione fisica del sole. Espongo i fenomeni che ci valsero una qualche idea circa la costituzione del nostro luminare, poi dirò le recenti osservazioni sulla diversa potenza calorifica delle sue parti.

Il sole al telescopio si vede sparso di certe macchie nere, che furono osservate la prima volta da Galileo e da Giovanni Fabricio olandese nel 1610. Molte di tali macchie sono così vaste che superano di gran lunga non solo il seno Mediterraneo, ma tutta l'Asia e l'Africa, e se ne dà qualcheduna che non basterebbero a coprirla quattro o cinque o più terre insieme. Variano sito tra di loro, ma hanno pur tutte un movimento comune, per cui ciascuna in circa 14 giorni va dall'orlo orientale del disco all'occidentale dove si cela, e dopo altri 14 giorni spunta di nuovo dalla circonferenza orientale e rifà il suo cammino.

Cosa dobbiamo noi pensare che siano in verità queste macchie giranti? Non è già che siano corpi opachi permanenti, che si volgano in proprie orbite intorno al sole e rimoti da lui, i quali nel passargli sotto si mostrino a noi in quell'aspetto di macchie oscure, e vadano così ad occultarsi dietro il sole per comparire di nuovo a ripetere il giro. Non sono corpi permanenti perchè, oltre il mutarsi in diversissime figure, molte macchie si vedono nascere nel mezzo del disco solare e molte parimente dissolversi e svanire pur lontane dalla circonferenza del sole; argomento necessario che le si generano e si dissolvono: anzi è raro che una macchia duri più di 6 settimane senza svanire, ed è singolare il caso di una che durò 70 giorni. Il loro moto, le loro figure tengono siffatte leggi di variazione da concludere « necessariamente che le macchie son contigue,

da ciascun centimetro quadrato della superficie solare sgorgano calorie $1,7633\frac{d^2}{r^2}$, ossia $\frac{1.7633}{sen^2\omega}$, dove ω è la metà del diametro apparente del sole veduto dalla terra. Sostituito il valore di ω, che da Pouillet è preso $= 15',40''$, si ha 84888.

al corpo solare, e che toccando la sua superficie, con essa o sopra di essa si muovono, e che in cerchi da quello remoti in verun modo non si raggirano. Concludelo il moto, che verso la circonferenza del disco solare apparisce tardissimo, e verso il mezzo più veloce; concludonlo le figure delle macchie, le quali verso la circonferenza appariscono strettissime in comparazione di quelle che si mostrano nelle parti di mezzo: e questo perchè nelle parti di mezzo si veggono in maestà e quali elle veramente sono, e verso la circonferenza, mediante lo sfuggimento della superficie globosa, si mostrano in iscorcio; e l'una e l'altra diminuzione di figura e di moto, a chi diligentemente l'ha sapute osservare e calcolare, risponde precisamente a quello che apparir deve, quando le macchie sien contigue al sole, e discorda inescusabilmente dal moversi in cerchi remoti, benchè per piccoli intervalli, dal corpo solare (1) ». Anche l'uguaglianza tra il tempo che sono visibili e quello che stanno celate in ciascuna conversione è prova che le macchie appartengono alla superficie solare.

Dalle circostanze poi che le vie di tutte sono parallele tra loro e le conversioni di tutte pressochè di uguale durata, si risolve che le macchie non girano ciascuna per sè, ma ne vanno tutte insieme portate in giro da un movimento rotatorio del corpo solare intorno ad un suo asse. E così riceve conferma la opinione del moto rotatorio del sole preconcetta da Giordano Bruno e da Keplero.

Qual'è la durata di una rivoluzione del sole in questo suo moto? Le macchie, come abbiam detto, variano sito tra loro, e quindi è chiaro che hanno anche un cotal movimento proprio che non concede di prendere con sicurezza dal loro giro la misura del tempo in cui si compie una rotazione dell'astro. Tuttavia dalle osservazioni, fatte in gran numero per diminuire ed annullare l'influenza di questi incostanti moti proprii delle macchie, risulta che la media misura del tempo che una macchia ci mette a ritornare in una medesima posizione è di giorni 27,5. Questo non è però il tempo in cui il sole compie un giro, perchè il sole, mentre si rivolge intorno all'asse, muta pure di luogo per il suo moto intorno alla terra; e ne segue che a ricondurre la macchia propriamente nella medesima posizione rispetto a noi, gli convenga fare un po' più che un giro. La durata della rotazione solare è dunque un po' minore della

(1) Galileo. *Dialogo intorno ai due massimi sistemi.* Giornata I.ª

durata di un giro apparente della macchia [1]. Laugier per moltissime osservazioni di molte macchie la riduce a giorni 25,34.

E l'asse della rotazione del sole com'è disposto? Se l'asse fosse perpendicolare al piano dell'eclittica i cerchi percorsi dalle macchie sarebbero paralleli a codesto piano, e noi li vedremmo sempre per taglio, cosicchè ogni macchia ci parrebbe camminare sempre in linea retta attraverso il disco del sole; ma non è così: le linee percorse dalle macchie ci appariscono rette solo in due giorni dell'anno, verso il 1.° di dicembre e il 1.° di giugno (fig. 170 e 172, dove *ee* è l'eclittica); negli altri giorni ci appariscono ad arco, e per 6 mesi il convesso degli archi è verso la parte superiore del disco (fig. 171), e

Fig. 170. Fig. 171. Fig. 172. Fig. 173.

per gli altri 6 mesi verso l'inferiore (fig. 173). Inoltre i punti delle prime comparse delle macchie per 6 mesi sono più bassi dei punti opposti delle occultazioni, e per altri 6 accade il contrario, cioè le macchie nascono da punti più elevati, e da quelli discendendo nei corsi loro vengono ad ascondersi in punti più bassi; per due giorni soli di tutto l'anno sono tali termini de-

(1) Quando il sole è in S (fig. 169) una macchia si trovi nel centro del disco; noi dalla terra T la vedremo in *a*, supposto che il cerchio rappresenti la projezione orizzontale del sole. Nel tempo che la macchia compie un giro apparente, nel verso indicato dalla freccia, il sole passi in S'; alla fine di questo tempo noi vedremo la macchia in *a'*. Se il sole nel passare da S ad S' avesse fatto nulla più che un giro sopra sè stesso, il raggio S*a* avrebbe preso la direzione S'*a* parallela alla sua direzione anteriore; ma invece esso è venuto a prendere la direzione S'*a'*, però il sole ha fatto un po' più di un giro, si è girato di 360° più l'angolo *a*S'*a'* eguale in misura all'angolo STS' passato dal sole in $27^g,3$ nel suo moto intorno alla terra. Dunque il tempo che il sole consuma a fare una giusta rivoluzione sull'asse è minore di $27^g,3$.

Fig. 169.

gli orti e degli occasi equilibrati (fig. 171 e 173), dopo i quali libramenti, cominciando pian piano l'inclinazione dei viaggi delle macchie, e di giorno in giorno facendosi maggiore, in tre mesi ella giunge alla somma obbliquità, e di lì cominciando a diminuirsi, in altrettanto tempo si riduce all'altro equilibrio. Il giorno della massima obbliquità è l'istesso che quello del passaggio fatto per linea retta (fig. 170 e 172), e nel giorno dell'equilibrio l'arco del viaggio appare più che mai incurvato (fig. 171 e 173). Negli altri tempi poi, secondo che la pendenza si va diminuendo e incamminandosi verso l'equilibrio, la curvatura degli archi dei passaggi va per l'opposito aumentando [1]. Da tali apparenze esattamente messe a calcolo si desume che l'asse di rotazione del sole devia di 7°, 9′, 12″ dalla perpendicolare al piano dell'eclittica.

L'aspetto circolare che ha sempre il sole e insieme il moto rotatorio di esso ci assicurano che la sua forma è sferica.

290. *Altre particolarità delle macchie solari. Facole. Conghietture sulla costituzione fisica del sole.* In una macchia v'è d'ordinario due parti diverse: la parte media che apparisce nera e dicesi *nucleo*, e una parte grigia, che si allarga con più o meno di regolarità all'intorno del nucleo, e si dice *penombra.* Il primo a distinguere la penombra fu Scheiner. Le due parti vanno quasi sempre accompagnate; sono rare le macchie a solo nucleo o a sola penombra. Le figure delle macchie sono irregolari, differentissime, e si mutano di continuo ora con preste e grandi variazioni, ora con lente e piccole. Talvolta si vede molti nuclei sparsi in una sola penombra, e una macchia dividersi in due o tre, e spesso molte unirsi in una, ed ingrandirsi, impiccolirsi, svanire, ed altre intanto spuntare e crescere; insomma è un continuo e vario rinnovellarsi di queste affezioni del sole.

La superficie splendente dell'astro (fotosfera) non è tutta di lume uniforme. In giro delle macchie, ed anche a molta distanza dall'orlo esterno della penombra, vi sono quasi sempre certi spazi d'una luce più viva, che si chiamano *facole;* il resto della superficie è sparso di rughe e punti più brillanti accompagnati da rughe e punti oscuri (*pori*); e tante sono in ogni luogo le ineguaglianze di luce da rendere immagine di un mare in burrasca o di un campo arato di fresco. Le facole grandi furono vedute la prima volta da Galileo, le piccole, cioè

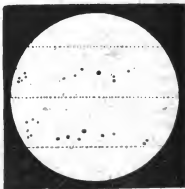
(1) Galileo. *Dialogo intorno ai massimi sistemi.* Giornata III.ª.

le rughe e i punti di luce da Scheiner. Le facole si mutano di figura anch'esse, e si movono sul disco solare di conserva con le macchie; altra prova del moto rotatorio del sole. Le grandi facole quando sono giunte presso la periferia del sole riescono più splendide che non nelle parti medie.

Talvolta dove sta per formarsi una macchia comparisce prima una facola; quasi sempre il nucleo comincia a mostrarsi come un piccolo punto nero, un poro (uno e non più), che va dilatandosi a cerchio con rapida forza, e si cinge della penombra, la quale nella prima fase conserva parallelo il suo contorno a quello del nucleo. Una macchia talvolta si trasforma in facola e poi di nuovo in macchia; fu veduta una macchia sparire e ricomparire più volte nel centro d'una facola. Quando la macchia si guasta, cessa il parallelismo tra i contorni del nucleo e della penombra; se la macchia tira a dileguarsi, la penombra si restringe sul davanti, si allunga nella regione posteriore, il nucleo diminuisce e scompare quasi sempre come per una invasione che vi faccia la penombra, nella quale invasione il nucleo viene sovente spartito in due o più; il nucleo svanisce prima della penombra.

La moltitudine delle macchie casca sempre in una zona dell'astro, larga circa 60°, compresa tra due cerchi paralleli, l'uno al di sopra, l'altro al di sotto dell'equatore solare ad uguale distanza da esso. In questa zona le regioni più ricche a macchie non sono sull'equatore, il quale anzi ne porta di rado, sono in due fasce laterali tra 11° e 15° di declinazione, principalmente in quella dell'emisfero boreale; si vide qualche macchia anche a più che 40° dall'equatore (fig. 174).

Fig. 174.

L'estensione di superficie solare occupata dalle macchie è talvolta ben grande; si ebbero macchie tanto estese da essere vedute ad occhio nudo; al che è necessario che la loro grandezza angolare sia circa 1/10 di quella del sole, e però la larghezza assoluta sia di circa 10 o 12 diametri terrestri. W. Herschel nel 1779 ne misurò una che aveva il diametro grande 15,7 volte quello della terra. E spesso le macchie sono molte

insieme; qualche giorno se ne contano più di 50 e fino 80; nel 1719 erano tante che parve agli astronomi formassero una cintura al corpo del sole. Parecchi storici e cronisti antichi parlano di giorni, mesi ed anni intieri ne' quali il sole fu a gran pezza meno splendido del consueto; forse la cagione erano macchie assai grandi e numerose.

Le macchie non sono corpi oscuri che emergano dalla superficie luminosa; una osservazione lo prova: due macchie che nelle regioni medie dell'astro appariscono divise da una lista sottile di luce, diretta secondo un meridiano, quando poi camminano al tramonto, e noi le vediamo in iscorcio, si mostrano ancora divise come prima; tal non sarebbe se sporgessero dal fondo luminoso pur di poco, giacchè, la macchia posteriore col suo rialzo celando ogli occhi nostri la lista, noi le vedremmo come riunite in una macchia sola.

Wilson nel 1769 fece una bella osservazione che mostra come le macchie non siano oscuramenti affatto superficiali del sole. Una macchia, mentre si trovava presso il centro dell'astro, aveva la penombra di uguale larghezza in tutto il giro; mano mano che la macchia veniva portata verso la periferia dell'astro la parte di penombra meno lontana dal centro del sole appariva sempreppiù ristretta, senza che le altre parti avessero mutato larghezza; giunta la macchia a 24″ dalla periferia solare, quella parte di penombra era del tutto scomparsa e con essa anche una porzione attigua di nucleo. Ora se la macchia fosse una oscurità superficiale, il fenomeno osservato da Wilson sarebbe inesplicabile, ed anzi sarebbe il contrario di quel che dovrebbe seguire, giacchè la parte di penombra, che si vede più obbliquamente, cioè la più lontana dal centro del sole, dovrebbe sminuirsi all'occhio e scomparire la prima per lo sfuggimento della superficie curva. Wilson rende ragione del fenomeno supponendo che le macchie siano grandi cavità nella materia luminosa dell'astro; e a fare compiuta la spiegazione delle macchie immagina che la materia luminosa, non liquida, non perfettamente espansibile, ma tenue di costituzione e cedevole come le nostre nebbie, involga, quasi sottile atmosfera, un grande globo solido oscuro che è la massa principale dell'astro, e che in questa atmosfera si formino a quando a quando certe vaste cavità le quali permettano di vedere alcune parti del globo oscuro. Il basso fondo della cavità, ossia la parte scoperta del globo oscuro è il nucleo; e i fianchi della voragine, con la materia luminosa che scorre giù per

essi a riempire il vuoto, disegnano all'occhio la penombra. Così nel passare della cavità alle regioni periferiche del sole i fianchi suoi devono, per necessaria ragione di prospettiva, restringersi alla vista e celarsi da quella parte che è la posteriore nel moto o la meno lontana dal centro del sole. Anzi, dalla osservazione del luogo dove la penombra cessa di essere veduta, si può pigliare indizio a valutare la profondità del nucleo rispetto alla superficie. Wilson trovò in quella macchia del 1769 la profondità di solo un raggio terrestre. Il fenomeno avvertito allora da Wilson non è un caso singolare o raro, ma è l'ordinario modo che tengono le macchie: se qualche volta succede altrimenti, la eccezione non contraddice all'ipotesi delle cavità, giacchè se ne rende buon conto con la diversa inclinazione dei fianchi o con la direzione obbliqua dell'asse della voragine e con altre particolari condizioni che si notano nelle macchie anche quando sono osservate nelle parti medie del sole. Wilson immagina pure la cagione fisica onde si formano le cavità nell'atmosfera solare: un fluido espansibile sprigionatosi dalla massa oscura sorge per la sua leggerezza nella sostanza luminosa, la rompe, la respinge tutto all'ingiro, dilatandosi ognora più che ascende perchè viene in luoghi di minore pressione [1].

Bode nel 1776 accolse queste idee, facendovi qualche aggiunta. Egli pensa che fra l'atmosfera luminosa e il globo oscuro vi sia una seconda atmosfera di vapori, e si compiace di immaginare su quel globo mille varietà di paesaggi e di scene; selve antiche, foreste ignude, balzi di montagne e scogli d'alpi, oceani e laghi, campagne biondeggianti di messi, praterie allegre, tutte verdi e rigogliose di pascoli; gli abitanti poi beatissimi, illuminati in perpetuo dalla loro atmosfera di luce e caldi in perpetuo ai raggi temperati a giusto segno dall'atmosfera vaporosa. Quando le due atmosfere si rompono noi vediamo una parte del globo ora più ora meno oscura come porta la qualità del suolo scoperto. L'atmosfera di luce in giro allo squarcio è assottigliata, onde lascia trasparire per uno spazio all'intorno la seconda atmosfera che dipinge agli occhi nostri la penombra; se accade che la prima atmosfera si assottigli senza rompersi, noi vediamo una macchia a sola penombra. Le facole sono prominenze dell'atmosfera luminosa, ed appariscono più splendide vedute obbliquamente in sul lembo

(1) Capocci nel 1826 dall'osservatorio di Capodimonte vide un fumo violetto elevarsi dal mezzo d'una striscia luminosa che divideva due nuclei.

del sole che dirittamente nel mezzo, per quel medesimo che i cavalloni del mare sembrano poca cosa a chi li guarda giù dall'alto, e sono pur tanto a vederli dalla spiaggia.

W. Herschel non si dilunga da queste immagini. L'atmosfera di luce, con una costituzione simile a quella delle nostre nubi, nuota in un'atmosfera trasparente invisibile; sotto l'atmosfera di luce ve n'ha un'altra più densa e meno luminosa, o forse lucida solo per riflessione, e sotto questa il globo solido oscuro. A dare una macchia con nucleo vogliono essere due squarci che si corrispondano sulla stessa direzione visuale nelle due atmosfere visibili, onde si scopra una parte del globo oscuro; son essi eguali i due squarci e in giusta rispondenza tra loro? ecco un nucleo senza penombra; lo squarcio è più largo nell'atmosfera luminosa che nella meno lucida? allora si vede anche un lembo di questa atmosfera ed è la penombra, ecco la macchia completa; è squarciata l'atmosfera luminosa e non l'altra di sotto sulla medesima visuale? ecco una macchia di sola penombra. La forza che rompe le due atmosfere quasi sempre sulla stessa direzione e che governa tutte le mutazioni della superficie solare è ancora un gas che sorge dal globo interno; se il gas è scarso, fa piccole rotture negli strati e sono i pori; salito il gas alle regioni delle nubi luminose, si accende o si combina con altri gas; la luce che si genera in queste azioni chimiche splende in una parte più in altra meno, ecco le rughe luminose a diversa forza: le nubi di luce non sono ben serrate insieme; gl'interstizi lasciano vedere le nubi interne assai meno brillanti, ecco le strisce men vive. La materia luminosa, respinta dal gas che sgorga e si dilata, va accumulandosi variamente all'ingiro della bocca, ed ecco le facole che cingono la macchia. Le altre facole che appariscono isolate sono spesso foriere di macchie che si formano in quel luogo; sono dunque grandi sollevamenti nell'atmosfera luminosa per quella forza stessa che poi riesce a squarciarla.

Che fede acquistarono a codeste congetture le osservazioni posteriori?

La congettura di Wilson che le macchie siano voragini aperte nello strato esterno del sole riceve conferma di fatto, s'egli è vero, come parve ad alcuni, che una grande macchia quando è sul nascere, o sul tramontare segna una tacca nel contorno del disco [1]. La profondità delle macchie è certo non molta rispetto all'ampiezza.

(1) Secondo I. Herschel questo fenomeno fu osservato già nel dicembre

Che le facole invece siano prominenze o cumuli di materia luminosa è confermato da recenti osservazioni. Il P. Secchi notò più volte come le facole si presentano ad un orlo del sole assai larghe e decise e vengono sempreppiù restringendosi nell'accostarsi al mezzo del disco, e si allargano poi di nuovo nell'andare per l'altra parte, appunto come dee parere di montagne altissime. Dawes vide una serie di facole giunta sull'estremo confine del disco dare aspetto di una cresta di monti.

Vedremo che Arago trovò modo a conoscere se una luce abbia origine da un corpo solido o liquido incandescente, oppure da un corpo gasoso; la luce del sole è di un corpo gasoso come la fiamma di candela o il gas illuminante.

Non è da credere che i nuclei delle macchie, o se vuolsi dire le parti vedute del corpo interno del sole, siano così muti di luce come pare a noi; forse ci pare così per il confronto che ne facciamo con la vivissima luce della fotosfera; questo ci basti che un pezzo di calce viva reso incandescente alla temperatura più alta che sappiamo, se portisi di botto in faccia del sole ci par nero anch'esso.

Ecco altre scoperte. L'illustre P. A. Secchi, osservando con un metodo nuovo dell'inglese Daves (1) e con ingrandimenti di 300 a 400 volte, ha veduto che la penombra delle macchie

1719; lo osservarono poi Lawson nel 30 giugno 1846 e Lowe dal 24 al 25 febbrajo 1849.

(1) Galileo osservava direttamente le macchie o presso il tramonto o a sole velato di nubi; e per disegnarle in ogni ora della giornata usava il modo suggerito da Benedetto Castelli di esporre una carta bianca e piana al di qua del telescopio a ricevere l'immagine del disco solare con tutte le macchie, e su quella carta stessa far il disegno. Ora questo metodo sarà molto giovato dalla fotografia, e le immagini così ottenute si potrà osservarle col microscopio. Scheiner pare sia stato il primo (nel 1611) a servirsi d'un vetro piano colorato, verde od azzurro, con cui copriva l'obbiettivo, cioè la lente rivolta all'oggetto; il vetro doveva dunque esser grande. Si collocò poi il vetro al di qua dell'oculare, cioè della lente a cui si mette l'occhio; così bastava un vetro piccolo. W. Herschel lo collocava dentro il telescopio; al vetro sostituì anche un liquido, l'inchiostro diluito e filtrato, chiuso fra due lamine parallele di vetro comune; questo liquido serba alla immagine del sole una tinta bianco-ulvea e lascia discernere meglio che col vetri colorati gli accidenti delle macchie. Ma nei grandi cannocchiali i vetri aggiunti si riscaldano tanto che scoppiano, e per evitare il danno bisogna restringere l'apertura del cannocchiale applicando un diaframma anulare davanti all'obbiettivo, con che si viene a perdere il vantaggio di una immagine ben chiara formata da tutto l'obbiettivo. Dawes pensò di porre il diaframma, non avanti all'obbiettivo, ma avanti all'oculare e precisamente nel fuoco comune delle lenti; così, oltre al vantaggio di avere l'immagine formata da tutto l'obbiettivo, si ha l'altro di restringere assai il campo di vista del cannocchiale e togliere dall'occhio una gran copia di luce che impedirebbe la visione degli oggetti meno chiari.

non è una tinta uniforme, come sembra a chi osserva negli altri modi meno acconci; è invece un complesso di raggi luminosi, curvilinei, irregolari, tutti convergenti però al centro del nucleo, con intervalli neri più o meno larghi; pare proprio una moltitudine di minutissime correnti che confluiscano in un fondo comune. Questa struttura a raggi l'avevano già veduta altri, Pastoroff, I. Herschel; ma si pensava che fosse cosa straordinaria; ora il P. Secchi dichiara che essa è la normale conformazione della penombra, ed aggiunge i seguenti particolari. Ciascun raggio, o corrente, è luminosa allo stesso grado che quella parte di fotosfera donde proviene. Il contorno del nucleo non è mai una linea curva, ma è un poligono i cui lati hanno minutissimi risalti formati dalle teste delle correnti; di solito a ciascuno di questi risalti ne corrisponde un altro un po' meno deciso nel confine tra la penombra e la fotosfera. Alcuni dei raggi più larghi si prolungano talora ad attraversare il nucleo e lo dividono in due o più parti. Ove più correnti o raggi si incrociano nella penombra, ivi cresce la luce fino ad eguagliare la vivezza delle parti immaculate. Nelle penombre molto estese, quali sono quelle che seguitano a foggia di code i nuclei delle macchie vicine a svanire, i raggi sono irregolari assai e si intrecciano in mille guise, formando più gruppi di crespe, simili alle onde marine come usano dipingerle i pittori; una serie di linee serpeggianti che corrono per un poco parallele e poi ad un tratto confondendosi tutte insieme vengono a fare l'arricciatura del flutto (1).

Per questi fenomeni si vede che l'ammorzato della penombra non nasce da una particolare sostanza che sia in quel luogo, diversa dalla fotosfera, ma deriva da ciò che ivi sono misti degli spazii oscuri agli spazii chiari, per essere la materia luminosa non continua ma divisa in varie correnti. A dar ragione della penombra non è dunque necessario ammettere la seconda atmosfera, quale fu proposta da Bode e da W. Herschel; risponde meglio al fatto la pensata anteriore di Wilson (2).

Qui sorge un dubbio; se per le osservazioni di Arago, la

(1) *Ricerche sulla struttura della penombra delle macchie solari. Annali di Scienze matem. e fis. compilati da B. Tortolini.* Roma. Maggio 1853, pag. 183.

(2) Una seconda atmosfera par che vi sia, la quale però non contribuisce al fenomeno della penombra. Dawes osservò sotto l'orlo inferiore della penombra uno strato che sembra non luminoso e dotato di molto potere assorbente per la luce.

sostanza luminosa del sole è un gas, come può ella fluire a mo'di torrenti nel mezzo della macchia? questo è l'andare dei liquidi e non dei gas. Si consideri di riscontro che dicendo gas non si vuol mica intendere come necessario che la sua forza espansiva sia grande, la quale se fosse grande porterebbe il fluido ad invadere meglio serrato all'ingiro quel vano della macchia; ma si può intendere con Wilson che sia una sostanza somigliante nella costituzione alle nostre nubi, che pure vediamo spesso come corrano da varie parti dell'orizzonte a chiudere il cielo. E la discesa della materia luminosa dev'essere nel sole ben più facile che delle nubi qui sulla terra, per la forza molto più grande che vedremo competere ivi alla gravità. Che se venisse replicato che in terra codesto moto delle nubi è provocato da mutazioni dell'aria in cui esse nuotano, rispondiamo che anche il sole ha una sua atmosfera diafana la quale tiene sospesa dentro di sè la sostanza luminosa, ed anzi la soverchia un buon tratto. Ne vedremo tosto le prove. Forse questa atmosfera, osserva il P. Secchi, spandendosi rapida nella voragine della macchia, può, colla densità che riceve nello strato infimo, assorbire sempreppiù di luce e così rendere a noi più oscure le parti depresse della fotosfera; e forse le facole, come sono prominenze, non per altro appariscono così chiare se non perchè si estollono al di sopra degli strati più densi dell'atmosfera medesima.

Schwabe ha notato nella comparsa delle macchie solari una periodicità. Il numero totale dei gruppi di macchie che compariscono in un certo anno è piccolo, negli anni che succedono va crescendo e arriva ad un massimo dopo 5 o 6 anni, poi va diminuendo e ritorna al minimo dopo altri 5 o 6 anni, e così di seguito: la durata del periodo intiero, cioè l'intervallo fra due massimi o due minimi consecutivi è dunque di 10 o 12 anni. Si ebbe un massimo negli anni 1828, 1837, 1848, un minimo negli anni 1833, 1843. Il numero medio dei gruppi che si vedono in un anno è di circa 160; negli anni del massimo è salito tra 225 e 333, negli anni del minimo è disceso a 33, 34. Inoltre il numero di giorni che il disco del sole non porta macchie è nullo nell'anno del massimo e negli anni vicini, ed è invece di 111 e fin 149 nell'anno del minimo e negli anni vicini. Anche la grandezza delle macchie e la durata di ciascuna entrano a costituire il periodo, crescono verso l'anno del massimo, diminuiscono verso quello del minimo. Il periodo è dunque bene pronunciato e per il numero totale dei gruppi

in un anno, e per il numero dei giorni che si vedono macchie, e per la grandezza e la durata di queste (1).

291. *Alcuni fenomeni osservati negli eclissi totali di sole. Corona. Prominenze.* Pochi secondi innanzi che l'eclisse diventi totale il corpo oscuro della luna si cinge all'improvviso d'una corona luminosa bianchiccia in foggia di aureola a contatto. Vi si distinguono due parti; la interna, di luce più viva e quasi uniforme, e la esterna la cui luce va digradando mano mano che si dilunga dall'astro. Airy nell'eclisse del 28 luglio 1851 vide netto essere la sua struttura a fasci di raggi su tutto il giro, come si disegna la rosa dei venti (fig. 175). La lar-

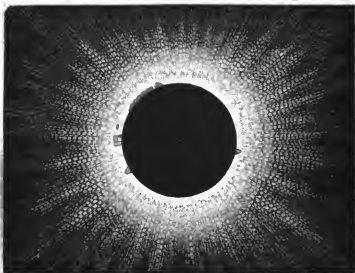



Fig. 175.

ghezza della corona secondo alcuni è quanto il diametro della luna, secondo altri non più che 1/3 di questo. Il fenomeno dura alcuni

(1) Lamont nel 1851 (*Poggendorff's Annalen.* Dicemb. 1851) notò un periodo decennale nelle variazioni dell'ago magnetico: l'ampiezza media annua delle variazioni diurne della declinazione dell'ago cresce regolarmente per 5 anni, poi diminuisce per altri 5 anni, ecc. Il colonnello Sabine e il prof. Gautier nel 1852 (*Bibl. Univ.* Luglio 1852) avvisarono, ciascuno senza sapere dell'altro, una coincidenza tra il periodo suddetto delle macchie solari e questo delle variazioni magnetiche, la quale si è che nel due periodi, oltre che la lunghezza è la medesima, i massimi e i minimi cadono proprio negli stessi anni. Bella coincidenza, che, quando si confermi per lunga serie, ci condurrà ad ammettere una relazione tra due ordini di fenomeni in

secondi, ed anche più di un minuto primo, dopo la fine dell'ecclisse totale. Le osservazioni convengono a dimostrare che la corona si mantiene concentrica al sole, non già alla luna, ond'è molto probabile ch'essa appartenga a quell'astro. Che sia l'atmosfera trasparente del sole, che, perduta all'occhio nell'ordinario fulgore della luce, riesce visibile a sole coperto?

Ad eclisse chiuso, poco prima che il sole emerga, spuntano talvolta dinanzi a questo certe nubi d'un rosso violaceo, diverse di figura e di grandezza, ma con netti confini, le quali vengono sporgendosi ognora più. La loro altezza è meglio che due o tre diametri terrestri; ma fin qui non v'è accordo sufficiente nelle misure che si fecero di una medesima protuberanza nello stesso momento e dallo stesso luogo. Nell'eclisse del 1851 se ne vide una affatto staccata dal contorno degli astri. Oltre le grandi prominenze se ne videro allora più altre minori, d'un rosso vivo, che sorgevano in fila come denti di sega da una lista pur rossa appoggiata sul contorno, lunga parecchi gradi (fig. 175). Le leggi con cui le prominenze si rendono visibili a diversi osservatori distanti gli uni dagli altri, fanno prova non dubbia che anche le prominenze appartengono al sole. Fu notato che alcune corrispondevano di sito sopra macchie e sopra facole già prima vedute presso l'orlo del sole. Sarebbero esse i gas che erompono dalla fotosfera facendo e mantenendo le voragini delle macchie solari, e che salgono poi nell'atmosfera trasparente superiore? quella che si vide staccata dal contorno fa testimonianza che v'è un'atmosfera che la reggeva.

292. *Differenze della intensità luminosa e calorifica nelle diverse parti della superficie solare.* La luce solare si irradia più intensa dalle regioni per noi medie dell'astro, e via via meno intensa dalle altre più rimote verso la periferia. Questa osservazione fu fatta da Luca Valerio fin dai tempi di Galileo. Bouguer, nella prima metà del secolo scorso, e recentemente Arago verificarono codesta diminuzione della luce, ma i numeri

apparenza molto disgiunti. Già parecchi altri fatti dimostrano una influenza del sole e della luna sui nostri aghi magnetici, e ci danno così a vedere uno di quei fili che collegano le parti dell'universo. In questi giorni il P. Secchi, mettendo a computo rigoroso i registri delle variazioni diurne ed annue dell'ago magnetico, compilati in molti luoghi diversi negli ultimi 30 anni, scoprì una legge che riassume quelle variazioni tutte quante; eccola: il sole opera sopra l'ago magnetico appunto come se egli fosse una grande calamita avente i suoi poli omonimi a quei della terra rivolti alle medesime parti del cielo. Ma di ciò a suo luogo.

che recano per denotarne la legge non sono d'accordo (1). Il fatto intanto prova che i raggi spiccandosi dal sole attraversano un ambiente che li assorbe in parte tanto maggiore quanto più obbliquo, e però più lungo, è il tragitto che vi debbono fare per uscirne, prova cioè l'esistenza di un'atmosfera assorbente che involge la superficie luminosa dell'astro.

Il P. Secchi istituì una bella serie di osservazioni sulla diversa potenza calorifica delle diverse regioni del sole (2). Il metodo fu di esplorare le parti della immagine ingrandita dell'astro data dall'oculare di un cannocchiale, facendole cadere separatamente su di un geloso termattinometro. Ecco i risultati.

1.° La temperatura diminuisce dal centro del disco verso la periferia: ciò conferma l'esistenza di un'atmosfera assorbente al di qua della superficie che irradia il calorico.

2.° È probabilissimo che all'equatore del sole il caldo sia un po' più che altrove (3).

3.° L'emisfero superiore o boreale è alquanto più caldo che l'inferiore od australe.

4.° In un campo dove sia una macchia l'irradiamento calorifico riesce diminuito assai, diminuito in una proporzione maggiore che non è quella della parte oscura coll'intiero campo della osservazione. Ciò mostra che l'influenza della macchia rispetto al calore si estende molto lontano dal nucleo e ben al di là del limite visibile esterno della penombra. Le facole che spesso trovansi miste alle macchie non compensano la diminuzione di calore cagionata da queste, neppur quando la loro superficie è più estesa di quella delle macchie; pare dunque che le facole non siano guari più calde che il resto della fotosfera (4).

(1) Foucault e Fizeau tolsero ogni dubbio che l'azione fotografica dei raggi del centro solare è maggiore di quella dei raggi della periferia; a vederne la prova bisogna che la sostanza che riceve l'impressione stia esposta alla immagine solare solo un istante, una piccolissima frazione di minuto secondo.

(2) *Annali di Scienze matem. e fis. compil. da B. Tortolini*. Roma. Maggio 1852, pag. 197, e Gennajo 1853, pag. 25.

(3) Questa differenza di temperatura e insieme il moto rotatorio dell'astro possono produrre nelle atmosfere solari un fenomeno somigliante ai nostri venti alisei (§ 94), dal quale fenomeno si può pigliare indirizzo a spiegare la disposizione che prendono le macchie solari in due zone parallele all'equatore, e fors'anche a spiegare la formazione stessa delle macchie.

(4) Siccome le macchie occupano talvolta un grande spazio nella superficie del sole, è ragionevole il pensare ch'elle possano influire sensibilmente sulla temperatura della terra. E i fisici ebbero di buon'ora questo pensiero. Battista Baliani fin dal 1614 scriveva a Galileo che a suo avviso il freddo aveva da essere più rigoroso quando il numero delle macchie crescesse.

Non si fecero ancora osservazioni dirette per vedere se vi siano differenze di temperatura nelle varie parti che ci presenta il sole nel suo giro. Un fatto notato da Buijs-Ballot fa pensare che vi siano; è questo: in diversi luoghi ad ogni intervallo di tempo lungo quanto la durata di una rotazione solare si ha una piccola elevazione di temperatura e un piccolo abbassamento il quale cade nel mezzo del periodo (1).

293. *Luna. Suo moto. Sue fasi.* La luna è per noi l'astro più importante dopo il sole. Essa, oltre il moto diurno comune a tutti i corpi celesti, per cui sorge sull'orizzonte e tramonta, ha un moto proprio, cioè muta di luogo nel cielo. Percorre nella sfera un'orbita che ci pare assai prossima alla eclittica, ossia al cammino che tiene il sole nel suo moto annuo; se ne scosta solo di poco ora verso il nord ora verso il sud. Il suo

(1) Scoperte le differenze di temperatura della superficie solare, si può, tenendo il debito conto di esse, cercare la legge con cui l'atmosfera del sole assorbisce di quel calorico che è irradiato dall' astro. Il P. Secchi coi dati delle sue osservazioni fece un tentativo anche in questa ricerca. Un confronto tra la frazione a cui si riduce il calore in un certo punto del disco, preso per unità il calore del centro, e quella analoga a cui si riduce, giusta le osservazioni di Bouguer, la intensità della luce nel medesimo punto, gli diede a vedere che le due frazioni sono quasi uguali; sicchè pare che il decremento dal centro verso la periferia dovuto all'azione assorbente dell'atmosfera solare sia press'a poco eguale e per il calore e per la luce. La legge di codesto decremento non è ancora definita. Le diverse prove tentate dal P. Secchi non condussero a risultati concordi; tuttavia per un'approssimazione grossolana prendendo un medio, si trova che l'atmosfera solare al centro assorbe circa 7/10 del calore, e che tutto il calore dei varii punti del disco che, attraversata l'atmosfera del sole, arriva a noi è poco più di 1/10 di quello che ci verrebbe se non vi fosse assorbimento da parte di questa atmosfera, vale a dire che il sole spogliato dell'atmosfera sua ci parrebbe quasi 10 volte più caldo ed altrettante più luminoso.

« Tutto ci induce a credere, scrive Melloni, che gli efflussi calorifici vibrati dalle diverse parti del sole siano differenti di quantità e di qualità, e che il fluido atmosferico sovrapposto alla fotosferà solare operi diversamente sulle varie specie di raggi che li compongono. E siccome la porzione a noi visibile dell'equatore solare si trasporta annualmente quando nell'emisfero superiore e quando nell'emisfero inferiore, scoprendoci or l'uno or l'altro polo, e costringendo le radiazioni degli stessi punti dirette verso il globo terrestre a traversare diverse profondità dell'atmosfera solare, ne segue che gli elementi di siffatte radiazioni devono patire assorbimenti quando più e quando meno intensi, e le composizioni degli efflussi corrispondenti variare pertanto nelle diverse stagioni dell'anno. Ora, considerando che il calor solare è senz'alcun dubbio il primo e principale agente destinato dal Creatore alla sussistenza ed alla propagazione della vita, ognun vede quale è quanta sia per noi l'importanza di queste variazioni, e come sia possibile ch'esse conducano un giorno a qualche utile applicazione, solo mezzo di giustificare oggidì lo studio della scienza pura nell'opinione di un pubblico interamente dedito alla cura degli interessi materiali ». (*Annali di scienze mat. e fis. compilati da Tortolini.* Settembre 1852, pag. 391).

moto proprio è diretto da ovest ad est come quello del sole per l'eclittica, ma è molto più veloce: in un giorno la luna passa un arco circa 13 volte più grande di quello che passa il sole.

Nel suo giro la luna si rende a noi visibile sotto diverse figure secondo che essa è in varie posizioni situata, non già rispetto alle stelle, ma rispetto al sole e a noi; le quali figure o *fasi*, come s'usa chiamarle, si succedono sempre allo stesso modo in un periodo costante di tempo, che è quel medesimo in cui la luna ritorna ad una stessa posizione rispetto al sole. Ogni volta che la luna viene ad avere una stessa distanza angolare dal sole ci porge la medesima fase quali che siano le costellazioni in cui le accada trovarsi.

A dire con ordine come sono le fasi, vediamo prima quali posizioni prenda successivamente la luna in riguardo al sole. Poichè agli occhi nostri la luna corre press'a poco nella sfera la via del sole ma con maggiore velocità, ne segue che in alcuni tempi ci pare ch'ella abbia raggiunto il sole, e passi per dove questo si trova, o lì vicino; ma ben presto gli va innanzi e se ne dilunga ognora più nel suo giro, finchè lo raggiunge di nuovo per lasciarlo indietro un'altra volta, e così da capo. Le posizioni dunque che la luna prende rispetto al sole sono quali sarebbero se il sole si stesse immoto nel cielo, e la luna girasse per un gran circolo passante per il sole, o poco discosto.

Ora ecco le fasi. La luna quando è venuta nel luogo del sole non la vediamo. Due o tre giorni dopo la si discerne al far della sera sull'occidente, ed ha la sembianza di un arco di filo, o d'una falce strettissima che tiene il convesso rivolto al sole che tramontò (fig. 176); il moto del cielo la porta presto sotto l'orizzonte. Nei dì successivi si torna a vederla da quella parte, ma d'una figura alquanto più larga come di vela (fig. 177), e ogni dì più larga e più in alto nel cielo, onde rimane sopra l'orizzonte per un tempo più lungo. Il sesto giorno da che si cominciò a vederla ha già la figura di semicircolo (fig. 178),

Fig. 176. Fig. 177. Fig. 178.

ed è già tanto lungi dal sole che passa pel meridiano sei ore dopo di esso, cioè a sei ore dopo mezzodì. In seguito la sua figura si va arrotondando (fig. 179), e dopo altri sette giorni è fatta un cerchio compito (fig. 180); allora sorge a levante quando il sole cade a ponente, passa il meridiano dodici ore dopo il sole, cioè a mezzanotte, e tramonta quando il sole si leva. Poi ella sorge e tramonta sempre più tardi, e la sua figura va scemando (fig. 181); si riduce di nuovo a un semicircolo

Fig. 179. Fig. 180. Fig. 181.

(fig. 182), e allora passa per il meridiano diciotto ore dopo il sole, cioè a sei ore del mattino. In fine precede di poco il sorgere del sole, e ripiglia la sembianza di vela (fig. 183) e poi di falce e di filo (fig. 184) ma col suo convesso rivolto a

Fig. 182. Fig. 183. Fig. 184.

levante. Così, avvicinandosi al sole, viene a smarrirsi nella luce di lui; non è più visibile per due o tre giorni; e dopo ricompare la sera in sul tramonto con la prima figura che si disse; e ripete questa serie di fasi con lo stesso ordine e nello stesso tempo. Tali figure della luna si può vederle non solo di sera o di notte, ma anche di pieno giorno, quand'ella non sia molto vicina al sole.

Donde mai queste mutazioni di aspetto nella luna? Forse da una forma sua così fatta che girando ci dia a vedere in queste figure le diverse fogge del proprio contorno? Una semplice osservazione ci persuade che non è così. Quando la luna è falcata le stelle che vengono ad occultarsi dopo il corpo di lei dalla parte della concavità (nella direzione *ab*, fig. 185) non aspettano a scomparire di essere giunte al filo interno (*mcn*)

della falce, ma si celano ben prima, e proprio nel punto che giungono alla periferia (*mbn*) che si avrebbe continuando l'arco esterno (*nom*) a chiudere il circolo. Ciò prova che il corpo opaco della luna si estende in tutto questo circolo (*ombn*); e se d'ordinario non vediamo il circolo pieno, egli è che non vediamo la faccia intera che l'astro ci volge, ma ne vediamo quella sola parte che è illuminata.

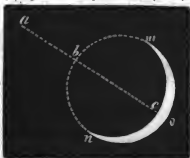



Fig. 185.

Ecco a suggello un'altra considerazione. La parte visibile della luna, quando è un poco estesa (fig. 177), ha certe macchie grigie che tengono sempre ciascheduna il suo sito e la sua figura; nello ingrandirsi di codesta parte, si danno a vedere, oltre le macchie di prima, altre macchie nuove nello spazio nuovo che diventa visibile (fig. 178, 179); compiuto il disco, se ne vede il maggior numero (fig. 180); quando poi la parte visibile va scemando perde le macchie delle prime fasi, e vi restano quelle che furono le ultime a comparire (fig. 181, 182, 183). Non è egli questo l'aspetto che dee offrire un corpo la cui superficie, non luminosa per sè, viene ad essere illuminata successivamente nelle sue diverse parti fino all'intero, e poi viene a mancare di luce successivamente nelle sue diverse parti in ordine inverso? E quando si noti ancora che il convesso della falce o della vela è sempre rivolto giustamente al sole, e dall'essere verso l'ovest (fig. 176), si trasmuta ad essere verso l'est (fig. 184), come si richiede a salvare questo rispetto col sole, non può più dubitarsi che il sole non sia quello che illumina il corpo della luna.

La costanza delle macchie è argomento che la luna ci volge sempre la medesima superficie. Le fasi poi dimostrano che questa superficie della luna a noi rivolta è d'una mezza sfera, e che noi ne vediamo una parte ora più ora meno grande secondo che il sole dalle sue posizioni illumina una parte di essa più o men grande. A farcene capaci immaginiamo l'orbita della luna quale un cerchio (ABCD... fig. 186) all'ingiro della terra (T), nel cui piano sia il sole (S), ma a tanta distanza dalla luna, come è di fatto (§ 261), che i raggi suoi giungano sempre alla luna paralleli tra loro in ogni luogo a cui ella passi

dell'orbita. Per integrità di concetto supponiamo altresì che la luna sia un corpo sferico; ed è probabilissimo che sia, sebbene

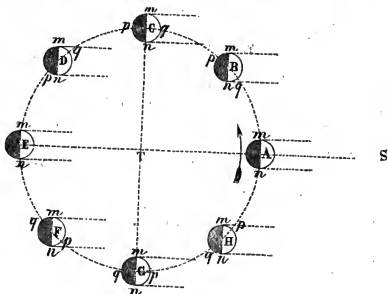



Fig. 186.

a noi non è dato accertarlo perchè la vediamo perpetuamente da una parte sola. Ciò posto, è chiaro che il sole non può illuminare ad una volta che una metà del globo lunare, quell'emisfero che a lui si volge; d'altra parte è chiaro che noi non possiamo vedere che una metà del globo lunare, quell'emisfero che è rivolto verso la terra; dunque noi in un tempo qualsia vedremo realmente non più che la parte dell'emisfero visibile che è illuminata, vale a dire la parte comune all'emisfero illuminato e all'emisfero visibile. Se con questo principio si accompagna col pensiero la luna nel suo giro intorno alla terra, si trova che le fasi devono seguire appunto come seguono veramente. Quando la luna è nella regione stessa del cielo dove è il sole (in A), l'emisfero illuminato è tutto verso il sole e quello non illuminato è verso la terra; allora la luna è invisibile. Come la luna si discosta dal sole, a poco a poco l'emisfero illuminato viene pigliando spazio in sull'emisfero visibile, e noi vediamo la falce comune ai due emisferi, e poi la vela (in B), e poi, quando la luna ha fatto un quarto di giro in-

torno alla terra (è in C), vediamo il semicerchio, che va in seguito crescendo e si arrotonda finchè diventa un cerchio completo; allora la luna (E) è nella regione di cielo direttamente opposta a quella del sole, e però l'emisfero che essa volge al sole è pur quello che volge alla terra; l'emisfero illuminato e il visibile sono il medesimo. In seguito l'emisfero illuminato va ritirandosi dal visibile, onde questo non è in lume per intero, ma è solo per una parte, la quale va scemando ognora più e si riduce alla sembianza di un semicerchio (in G), di una vela (in H), di una falce, e in fine si dilegua (in A) (1).

In questa dichiarazione abbiamo supposto che la luna descriva un cerchio intorno alla terra, e che il sole si trovi nel piano di esso cerchio; le sono due condizioni non esattamente vere nel fatto, ma prossime assai a verità; e dentro i limiti reali della approssimazione il nostro discorso regge del pari.

Quando la luna è (in A) sulla linea (TS) che va dalla terra al sole (è *in congiunzione* col sole), e noi non la vediamo, si dice *luna nuova*, e quel tempo si chiama *il novilunio;* quando nel suo giro si è scostata dal sole per 90°, e ci pare un semicerchio (in C), diciamo ch'essa compie *il primo quarto;* quando giunge (in E) sul prolungamento (TE) della linea suddetta dalla parte opposta al sole (in *opposizione* al sole), e noi vediamo il disco intero, si dice *luna vecchia* o *luna piena,* e quel tempo *il plenilunio;* quando nel continuare il giro fa ritorno verso il sole ed è giunta di nuovo a 90° da esso (in G), e pare ancora un semicerchio, si dice che entra nell'*ultimo quarto.* Le fasi di luna nuova e di luna piena ricevono anche in comune il nome di *sizigie* (σύν con e ζυγός giogo); le fasi di primo quarto ed ultimo il nome di *quadrature.*

E i nomi di luna nuova, primo quarto, luna piena, ultimo quarto si usano a denotare, non solo i quattro luoghi suddetti della luna riguardo al sole, ma anche gli spazi di tempo in che la luna si trasmuta da ciascuno di que'luoghi all'altro che segue. Così dal momento della luna nuova sino a quello del primo quarto suolsi dire che si è in luna nuova, da quello del primo quarto sino a quello di luna piena che si è nel primo

(1) L'emisfero illuminato della luna ha per limite il cerchio *mn* (fig. 186), l'emisfero visibile il cerchio *pq*: la parte che realmente si vede è la parte comune a questi due emisferi; dunque in A è nulla, in B è la parte che ha per projezione *nBq*, in C *nCq*, in D *nDq*, in E *nEm*, in F *mFp*, in G *mGp*, in H *mHp*.

quarto, e via. Il periodo intiero di tempo in cui si succedono tutte le fasi, o l'intervallo di tempo fra due noviluni consecutivi, si chiama *una lunazione*.

294. *Luce cinerea*. Un fenomeno che conferma la verità della ragione qui esposta delle fasi lunari è questo. Se guardasi bene la luna nella prima fase, quando un po' dopo il tramonto del sole ha sembianza di filo o di falce sottile, si distingue in sul fondo azzurro del cielo anche tutta l'altra parte del disco la quale non riceve i raggi diretti del sole; anch'essa manda un po' di lume, e così l'emisfero a noi rivolto è visibile tutto (fig. 187). Questo lume debole si dice *luce cinerea*. Ma come la luna si discosta dal sole e la fase si allarga, la luce cinerea s'indebolisce ognora più, e si estingue del tutto innanzi che la luna compia il primo quarto; ricompare poi nell'ultimo quarto, quando la luna, già ben falcata, precede sull'oriente la venuta del sole.

Fig. 187.

Ecco la causa del fenomeno. Nelle notti serene del plenilunio il nostro paese è pur illuminato dai raggi lunari; ebbene non dev'essere altrimenti della superficie della luna quando la nostra terra tiene rivolto verso di lei il suo emisfero illuminato dal sole; anzi la superficie della luna deve averne tanto più di luce quanto più grande è la terra appetto alla luna (§ 261). Sì, un osservatore che fosse nella luna vedrebbe la nostra terra con fasi analoghe a quelle che noi vediamo nella luna, se non che la fase ch'egli vedrebbe in un certo tempo, sarebbe opposta a quella che vediamo noi. Quando la luna è nuova (in A, fig. 186), la terra veduta di là è, lasciatemi dire, una gran luna piena, e allora l'emisfero della luna privo dei raggi del sole deve pur ricevere molta luce dalla terra; e noi in quel tempo vedremo quell'emisfero vestito di quella luce che la terra gli manda; è la luce cinerea; la quale si vedrebbe tanto più chiara quanto più la luna è prossima in apparenza al sole se non fosse il crepuscolo della nostra atmosfera a vincerla, però a vederla bene vuolsi aspettare che la luna siasi alquanto scostata dal sole; prende il massimo di sua chiarezza tre giorni dopo il novilunio. Mentre poi qui in terra si va dal novilunio al

plenilunio, là nella luna si vede la terra da piena farsi scema e sminuirsi via via fin che non ne apparisce più nulla; dunque la luce cinerea deve pure estinguersi, e già non la si discerne al primo quarto. Ma nel tempo che noi passiamo dal plenilunio al novilunio, l'emisfero illuminato della terra, chi lo guardi dalla luna, riesce visibile in parte sempreppiù grande e va diventando ancora una gran luna piena; e così in sul finire di quel tempo la luce cinerea deve ricomparire, e noi diffatti la vediamo al mattino innanzi che sorga il sole.

Il rapido estinguersi della luce cinerea nella luna nuova e il tardo ricomparire di essa nell'ultimo quarto dipendono da ciò, che quando nella fase lunare che cresce o diminuisce la parte chiara è un po' grande, questa con la sua luce ci toglie di veder bene la debole luce cinerea, sì per il soverchio dell' una luce sull'altra nel disco stesso della luna e sì per il chiaro di luna troppo vivo nella nostra atmosfera.

La spiegazione è di Leonardo da Vinci.

295. *Orbita della luna. Sue particolarità. Rivoluzione siderea, rivoluzione sinodica della luna.* A definire il moto della luna si fa come per quello del sole (§ 272). In molti giorni continui si registrano le diverse altezze meridiane della luna, e propriamente del suo centro e si registrano anche gl'intervalli variabili di tempo tra l'istante della culminazione sua e quello in cui è culminante una certa stella fissa. Da tali due serie di note si desume il moto dell' astro sì nella direzione del meridiano e sì nella direzione dell' equatore, e composti insieme i due moti, si conosce il moto risultante nella sfera celeste e la sua direzione. Le diverse grandezze angolari della luna, il cui diametro varia tra 29', 365 e 33', 516, dimostrano le diverse distanze dell'astro dalla terra, le quali poi servono ad assegnare la specie e la grandezza e la giacitura dell'orbita. Si trova così che la luna fa i suoi giri intorno alla terra da ovest ad est, non declinando se non poco da un piano che sega quello dell'eclittica ad angolo di circa 5°, 8', 48", e che l'orbita è una elisse (ANLN'L', fig. 188) [1] di poca eccentricità, in un fuoco della quale è situato il centro della terra. L'eccentricità è 0,0548, o circa $1/18$ della distanza media dalla terra alla luna. Anche quest'orbita, come quella del sole (ANBN'D)

[1] Nella figura 188 il circolo rappresenta la sfera celeste, EE l'equatore, ABCD la projezione dell' eclittica sulla sfera celeste, NLN'L' la projezione dell'orbita della luna; il moto del sole e della luna nelle loro orbite rispettive si fa nel medesimo verso indicato dalla freccia.

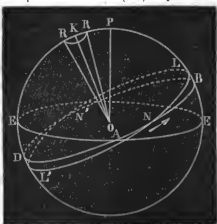
è quasi per una metà sopra l'equatore celeste (EE) e per l'altra sotto.

I due punti (N,N') d'intersezione dell'orbita lunare col piano dell'eclittica si dicono *nodi, ascendente* quello (N) da cui la luna s'innalza sopra l'eclittica verso il polo nord, *discendente* l'altro (N') da cui discende sotto l'eclittica verso il polo sud. La retta (NN') che unisce i due nodi si chiama la *linea dei nodi*.

Fig. 133.

In un giro della luna il moto non è uniforme. Paragonati tra loro gli archi percorsi ne' diversi giorni si vede che la velocità è maggiore nel giorno che il diametro dell'astro è più grande, cioè quando la luna è più vicina alla terra, e minore nel giorno che il diametro è più piccolo, ossia l'astro è più lontano.

Un giro intero della luna nella sfera celeste, cioè un giro per cui la luna ritorna alla medesima posizione rispetto alle stelle, si dice *rivoluzione siderea della luna*. Il tempo che la luna ci mette a farlo non è un periodo costante; la serie delle osservazioni raccolte fin qui dai più remoti secoli dimostra che questo periodo di tempo va diminuendo lentissimamente, ossia che il moto della luna si accelera. Adesso la durata della rivoluzione siderea è di circa 27 giorni e $^1/_3$, cosicchè è contenuta un po' più di 13 volte nella durata dell'anno; dunque nel tempo che il sole fa un giro intorno alla terra, la luna fa più di 13 giri.

Intanto che la luna fa una rivoluzione siderea, il sole percorre nella stessa direzione una parte della eclittica; ne segue che la luna alla fine di una rivoluzione siderea non ha, rispetto al sole, quella medesima posizione che aveva al principio. Per giungere ad averla, conviene ch'ella faccia ancora un po' di cammino. Un giro intero della luna in riguardo al sole si dice *rivoluzione sinodica della luna*. Il tempo in cui si fa, cioè il tempo che passa tra due consecutive posizioni eguali della luna rispetto al sole, è quel medesimo che forma una lunazione (§ 293). È chiaro ch'esso dipende insieme e dalla velocità del

sole nel suo moto annuo, e dalla durata della rivoluzione siderea della luna; anch'esso dunque diminuisce di secolo in secolo perchè quest'ultima durata diminuisce. Ora è di circa 29 giorni e mezzo.

L'orbita della luna è variabile e nella posizione e negli stessi elementi suoi. La linea dei nodi (NN', fig. 188) si gira nell'eclittica da est ad ovest (moto detto *retrogrado* perchè la sua direzione è contraria a quella del moto del sole), e gira di conserva anche l'orbita lunare; ma il moto va di tal guisa che l'inclinazione di quest' orbita all' eclittica si mantiene costante; è come se l'asse (OR) dell'orbita lunare descrivesse un cono di rivoluzione intorno all'asse (OK) dell'eclittica, con moto retrogrado e con angolo costante, movendo con sè l'orbita medesima. Queste sono immagini che servono a rappresentare il fenomeno, il quale consiste veramente in ciò che la luna in una serie di giri non ricorre per i medesimi luoghi; la curva ch'essa descrive sulla sfera celeste non si chiude, e se nel primo giro passò per un punto (N, fig. 189) dell'eclittica, nel secondo passa per un altro punto (N') un po' discosto verso ovest, e nel terzo per un terzo punto più discosto, e via via, onde i nodi vanno retrogradi, e la luna descrive nella sfera una curva complessa di più spire che s'incrociano serbandosi pur tutte ugualmente inclinate all'eclittica. Il moto dei nodi non è uniforme; ciascuno in circa 18 anni e mezzo (giorni 6793,39) compie un giro nell' eclittica, cioè torna alla stella da cui si partì. È questo un fenomeno simile alla retrogradazione dei punti equinoziali sull'eclittica (§ 274); fu avvertito da Ticone Brahe.

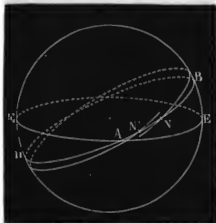



Fig. 189.

Se l'orbita lunare in quel suo giro che fa insieme alla linea dei nodi non muta inclinazione rispetto all'eclittica, conviene bensì che la muti rispetto all'equatore, ed anzi la variazione deve salire al doppio della obbliquità dell'orbita all'eclittica, cioè a 10°, 18′ (1); diffatti l'obbliquità dell'orbita all'equatore

(1) L'inclinazione dell'orbita lunare all'equatore (vedi fig. 188) è quella

varia da 18°, 19′ a 28°, 37′. Per avere le posizioni della luna scevre di queste variazioni si usa riferirle all'eclittica designandole per latitudine e longitudine (§ 275).

L'inclinazione dell'orbita lunare all'eclittica non è proprio costante, ma va oscillando tra 5°, 0′, 1″ e 5°, 17′, 35″; tocca al primo valore ogni volta che la luna è nelle sizigie, al secondo ogni volta che giunge in quadratura. Si rappresenta bene questa oscillazione immaginando che l'asse dell'orbita, mentre descrive il cono suddetto di rivoluzione intorno all'asse dell'eclittica, descriva pure lungo il cammino, ad ogni mezza lunazione, un altro cono circolare la cui apertura sia 17′, 34″, e che si mova in corrispondenza anche l'orbita. Tale movimento si dice la *nutazione dell'orbita della luna:* fu notato anch'esso la prima volta da Ticone Brahe.

La linea degli apsidi, cioè l'asse maggiore dell'orbita, va roteando da ovest ad est (moto diretto); così il perigeo e l'apogeo non tengono posizione fissa nell'orbita lunare, ma si rivolgono in essa, e tanto celeri che compiono una rivoluzione in meno di 9 anni (giorni 3232,57).

296. *Variazione diurna della grandezza angolare della luna.* La distanza della luna dal centro della terra (60 raggi terrestri, § 261) non è tanto grande che il raggio terrestre sia trascurabile appetto ad essa. Ne segue che la distanza della luna da noi, che la osserviamo dalla superficie della terra, varia sensibilmente nel moto diurno della sfera celeste. Quando la luna è a filo del nostro orizzonte, la sua distanza (AL, fig. 190) da noi è press'a poco uguale allo spazio (CL) che la divide dal centro della terra; ma quando

Fig 190.

medesima degli assi di queste due figure, è dunque misurata dall'arco PR, che nel moto conico dell'asse dell'orbita lunare varia d'una quantità RR = 2RK, cioè d'una quantità uguale al doppio della inclinazione dell'orbita lunare all'eclittica.

è al zenit, la sua distanza (AZ) da noi riesce diminuita di una quantità press'a poco eguale al raggio terrestre (CA), o di circa $^1/_{60}$ della distanza di prima. Perciò, mentre la luna dall'orizzonte di un luogo passa al zenit dello stesso luogo, serbandosi alla medesima distanza dal centro della terra, la grandezza angolare del suo diametro deve crescere press'a poco nella ragione di 59 a 60. E infatti se il diametro della luna all'orizzonte è di circa 31 minuti e mezzo, si trova poi che al zenit è più di 32 minuti; così nel tempo che l'astro ascende la volta del cielo e si avvicina al zenit, cioè dal suo nascere fino al suo passaggio per il meridiano, il diametro cresce in modo sensibile, e dopo questo passaggio, nel tempo che l'astro declina, il diametro diminuisce, e sul tramontare torna uguale a quello che era sul nascere.

Qui si presenta una domanda. Se la grandezza angolare della luna è maggiore al zenit che all'orizzonte, come avviene che la luna, al contrario di quello che dovrebbe, ci apparisce più grande all'orizzonte che al zenit? Questo fenomeno, che noi tutti abbiamo veduto cospicuo nella luna, si osserva anche nel sole e in ogni spazio circoscritto della volta celeste. Trattenianoci a considerarlo un poco.

297. *Apparenti variazioni di grandezza della luna, del sole e delle costellazioni.* La luna e il sole, quando sono prossimi all'orizzonte, appena sorti o lì per tramontare, appariscono più grandi che quando sono alti nel cielo, e la loro grandezza apparente va scemando con legge mano mano che ascendono, e va crescendo con legge inversa mano mano che discendono; cosicchè per ogni elevazione sull'orizzonte ciascuno di quegli astri ha la sua particolare grandezza apparente. Dico apparente, poichè se misurasi il diametro orizzontale dell'astro, quando è appena sorto e quando è giunto al meridiano e quando è nelle diverse altitudini di mezzo, si trova che la sua grandezza angolare non è sensibilmente diversa, anzi per la luna cresce un poco al crescere dell'altezza, in quanto che la distanza dell'astro dall'osservatore diminuisce in modo sensibile. Anche la grandezza apparente delle costellazioni varia nella stessa guisa al variare della loro altezza sull'orizzonte. La causa di tali variazioni di grandezza mi pare che sia questa [1].

[1] Malebranche fa le maraviglie che certi filosofi, sono sue parole, reputino più difficile trovare la ragione di questa apparenza che trovare le più grandi equazioni d'algebra (*De la recherche de la vérité*, L. I, Ch. IX). Ma qual'è poi la ragione facile che ne dà Malebranche? Eccola. Tra i diversi

L'atmosfera, comechè diafana, intercide con le sue molecole, e riflette più e più volte, e diffonde nel proprio seno molti dei raggi che gli astri mandano verso la terra e di quelli che la terra manda indietro (§ 190). Così di giorno ella è un oceano

mezzi che abbiamo per fare stima della distanza di un oggetto, quello che ajuta meglio l'immaginazione e induce più facilmente l'anima a giudicare che un oggetto è molto distante da noi, egli è che la vista non rappresenta all'anima quell'oggetto solo, sequestrato dagli altri, ma rappresenta insieme anche tutti gli oggetti che si trovano tra noi e quello. Ora quando vediamo la luna sull'orizzonte, vediamo al tempo stesso terre, case o mare tra la luna e noi, e giacchè facciamo un certo qual giudizio della distanza di quelle terre, di quelle case, o della estensione di quel mare, e la luna è pur sempre al di là, noi giudichiamo altresì ch'essa è ben lontana e però anche ben grande. Questo giudizio, o, come la intende Malebranche, questa sensazione composta, fa che allora vediamo la luna grande. Quando l'astro si va innalzando, sorge ad isolarsi nel cielo, e noi, vedendolo tutto solo, non possiamo formare quel giudizio della sua molta distanza, e l'altro che ne viene della sua grandezza; però vediamo la luna meno grande di prima. Così il fenomeno della luna orizzontale è in conseguenza di un inganno a cui è preso il senso per opera del giudizio.

La spiegazione di Malebranche è ricevuta quasi da tutti. Mi pare che non sia ben salda nelle sue ragioni stesse, e che non risponda alle particolarità del fenomeno.

Io non entro nella questione se alle nostre sensazioni si associno giudizi indiscernibili, perchè la nota di indiscernibili data a quei giudizi dai prudenti fautori io la tengo per un buon suggello di insolubilità. Osservo solo che se con Malebranche chiamiamo sensazioni anche i giudizi, le parti del due atti si confondono, e sotto la lente di quella parola trasvanno le une nelle altre e diventano davvero indiscernibili tra loro; ma la lente ci viene da una analisi incompleta degli atti nostri o da una sintesi temeraria. Sul punto poi che certi giudizi giungano per loro necessaria virtù fino a guastare la sensazione, io credo volontieri non siano mai così prepotenti che uno messo in sull'avviso non li possa domare. Nel caso nostro valga un poco la generalità del fatto e la coscienza di ciascun osservatore. Tutti, e astronomi e bambini e filosofi, dissero e dicono: io vedo la luna grande quando è sull'orizzonte; nessuno ancora, per quanto fosse esperto a trattare lo strumento validissimo del linguaggio nell'analisi delle idee, nessuno in presenza del fenomeno seppe dire: lo giudico che quella luna è grande.

E tra il giudicare che un oggetto lontano è grande e il vederlo grande ci corre un abisso. Nemmeno agli oggetti de'quali si conosce la grandezza vera, quando siano lontani, sappiamo restituir nulla della grandezza che perdono per la distanza. Il pallone aerostatico, che abbiamo veduto davvicino, nel salire diventa all'occhio un punto. Un amico a molta distanza ci pare piccolo, nè il sapere che è l'amico nostro lo ingrandisce d'un pollice. E perchè dunque s'ingrandirà all'occhio di tutti la luna, di cui i più ignorano la vera grandezza?

La spiegazione di Malebranche non risponde alle particolarità del fenomeno. Si osservi la luna orizzontale attraverso a un forellino che non conceda allo sguardo gli oggetti intermedii, non la si vede però meno grande.

Quando la luna è sorta di alcuni gradi sull'orizzonte, essa per l'occhio nostro non è più al di là di tutti gli oggetti visibili; è al di sopra; e ben si potrebbe credere che fosse meno rimota dei più lontani luoghi che si vedono sotto; allora dunque il giudizio della sua molta distanza non è più necessario a farsi; e perchè mai anche allora tutti la vedono grande? E il

illuminato che dispensa luce a tutti i luoghi dove non batte raggio diretto di sole, e si comporta in modo simile anche di notte alla luce della luna, sebbene allora il fenomeno sia molto meno sensibile che di giorno. Il colore azzurro che diciamo del

diminuire la sua grandezza con legge mano mano che sale, cosicchè ad una medesima elevazione corrisponde sempre la medesima grandezza, è egli confacente con una illusione, o non è piuttosto un indizio che il fenomeno segue le giuste leggi di una causa fisica? Mi sa strano che il giudizio, il quale pur troppo non va sempre per segno quando istruisce, adoperi poi le seste quando inganna.

La grandezza apparente della luna è sempre la stessa ad una certa elevazione, anche dove le circostanze dovrebbero mutarla, dato che fosse giusta la spiegazione di Malebranche. Se stando in capo di una pianura che si protenda acclive sino alle spalle di un alto monte lontano, vediamo sorgere dalle creste aeree del monte la luna, la vediamo non già grande come allora che sorge a fil dell'orizzonte, e tale dovrebbe vedersi per gli argomenti di Malebranche, ma la vediamo di quella grandezza minore che corrisponde alla sua elevazione. Questo fatto c' insegna che la causa del fenomeno non dipende dagli accidenti del paese ma dipende bensì dalle altezze dell' astro sull' orizzonte.

Eulero, avendo forse riguardo a tale dipendenza, offre una spiegazione che almeno per la luna e per il sole ne rende un qualche conto (*Lettres à une princesse d'Allemagne.* III Par. Let. XCVI e seg.). I corpi celesti, egli dice, veduti all'orizzonte ci sembrano più lontani che veduti a buona altezza nel cielo, perchè all'orizzonte ci appariscono meno lucidi che in alto, a cagione delle perdite maggiori che fa la loro luce, prima di giungere a noi, attraversando uno spazio d'aria molto più lungo che quando viene dall'alto. Così l'astro, mano mano che sale, manda più lume, e pare sempre meno lontano. Anche Eulero passa poi dalla distanza apparente alla grandezza apparente col gioco del giudizio.

Quanto all'ultima parte della sua spiegazione, ritornano in campo le obbiezioni suddette; con questa di più che, se foste giusta, anche un pajo d'occhiali di vetro un po' fosco dovrebbe dar a vedere ingrandita la luna.

E quanto alla prima parte, è vero che gli oggetti sembrano più lontani se la luce che ci mandano è meno viva; e, come osserva Eulero, i pittori si valgono di questo per rappresentare sullo stesso piano della tela vari oggetti che debbano parere a distanze molto diverse, e ammorzano la luce in sugli oggetti che vogliono far più lontani; ma l'esempio delle pitture non dà valore alla spiegazione di Eulero. Nei quadri si vedono lì vicini tra loro gli oggetti con diverso lume, v'è contrasto effettivo, di sensazioni attuali e nell'esempio della luna non v'è che una sensazione sola: nè giova dire che ci soccorre la memoria della luna veduta altre volte più lucida e più piccola in alto, perchè il confronto fa avvertire la differenza non la crea, il confronto serve bensì al giudizio che mette in rilievo la differenza delle grandezze apparenti, ma il fenomeno da spiegare è già tutto nelle sensazioni anteriori al giudizio, è già negli elementi che sono la materia del giudizio stesso.

C'è un altro argomento che accusa l'insufficienza della spiegazione di Eulero. Anche le costellazioni variano di grandezza come la luna e il sole, e nessuno vorrà dire che non sia per una medesima causa. Ora, come si conviene la spiegazione di Eulero alle costellazioni? Lo spazio occupato da una costellazione diventa forse meno lucido anch'esso mano mano che questa si allontana dal zenit?

cielo, e che appartiene invece all'aria (§ 188), è già per sè solo una prova che l'atmosfera si vede e di giorno e di notte. Tra l'occhio nostro e la volta del cielo esiste dunque l'oceano dell'atmosfera, diafano sì, ma non tanto che non sia pur esso più o meno visibile. Al di sopra di questo oceano v'è lo spazio perfettamente diafano che non porge alla vista alcun segno di sè. Ora l'occhio nostro, che è proprio nel fondo dell'oceano atmosferico a guardare il cielo, in che luoghi dello spazio ravviserà egli mai gli oggetti che sono molto al di sopra del limite alto di codesto oceano? Il senso della vista, secondo sue leggi, assegna il luogo degli oggetti lontani con la scorta degli oggetti intermedii visibili; questi formano come a dire la catena che dall'occhio mette capo nell'oggetto lontano a cui si guarda, e la vista la percorre istintivamente nel percepire il luogo dell'oggetto. Supponiamo, per farci al caso nostro, che tale catena non giunga sino all'oggetto fissato, ma abbia termine al di qua, e che nello spazio ulteriore tra il suo termine e l'oggetto non vi sia nulla di visibile. Allora se le ultime parti della catena non cadono sulla visuale che va diritta all'oggetto, l'occhio ravvisa una interruzione che gli apprende come l'oggetto è al di là dell'estremo capo della catena, ma se la catena o le sue ultime parti cadono in sulla visuale, l'occhio non ha modo a scoprire l'interruzione, esso vede l'oggetto in capo alla catena. Or bene, tale per l'appunto è il caso quando si guarda la luna, il sole. Dal fondo dell'oceano atmosferico la visuale batte diritta allo scopo; le parti limpide ma pur visibili di tale oceano che sono sulla visuale e intorno ad essa dove si diffondono più vivi all'occhio nostro i raggi dell'astro, formano la catena dall'occhio verso l'astro. La vista, che non ritrae alcun segno dello spazio al di là dell'aria, prospetta l'astro in sul limite dell'atmosfera visibile. Intendo con ciò che l'immagine dell'astro è trasferita per l'occhio su codesto limite, e piglia tutta la sezione ivi fatta al gran cono di raggi che ha la base sull'astro e il vertice nella pupilla. È un fatto che gli oggetti lontanissimi, se lucenti, ci pare che siano assai meno lontani del vero, dove manchi fra mezzo ogni segno delle distanze. Però, lungo quel cono che ha per apertura la grandezza angolare dell'astro, la vista ravvicina l'astro per quanto non glielo vietano i segni intermedi, che qui sono dati dall'aria visibile. Ora questi segni, o questi spazii visibili d'atmosfera, si dilungano assai diversamente nelle diverse direzioni sull'orizzonte; nella verticale è minimo il tragitto all'aria rara che non

ha più alcun potere sull'occhio, nelle direzioni più e più inclinate il tragitto è più e più lungo, e nella orizzontale è massimo. L'occhio dunque ravvisa l'astro a diverse distanze nelle diverse direzioni. E la differenza dalla minima alla massima distanza non è piccola: se il limite dell'atmosfera visibile fosse là sul limite reale dell'atmosfera, la differenza sarebbe maggiore che da 1 a 12 (posta l'altezza dell'atmosfera = $^1/_{80}$ del raggio terrestre), e mano mano che quel limite si facesse più prossimo alla terra, ma fosse pur tuttavia concentrico al globo, la differenza crescerebbe assai. Riteniamo per un esempio la differenza da 1 a 12. L'immagine dell'astro al zenit sarà la sezione (*nn* fig. 191) del cono visuale alla distanza 1 dal ver-

Fig. 191.

tice (*o*), ossia dall'osservatore, e l'immagine all'orizzonte la sezione (*mm*) alla distanza 12; se fosse dato vedere le due immagini davvicino, la seconda avrebbe un diametro 12 volte quello della prima. Le immagini degli astri, che quali il sole e la luna, hanno una grandezza sensibile, ritratte così per un dato luogo sul limite della visibile atmosfera, sono molto diverse di grandezza alle diverse elevazioni sull'orizzonte, come sono diverse le loro distanze da quel luogo. Da tali differenze di grandezza delle immagini provengono, a mio avviso, le differenze delle grandezze apparenti degli astri alle diverse elevazioni.

Qui sorge subito una obbiezione. Se diverse immagini sono per sè tanto più grandi quanto più sono lontane dall'osservatore, questo, dovendo pur vederle tanto più impiccolite per effetto della distanza quanto più sono lontane, le vedrà tutte eguali. Così le immagini dell'astro a diverse altezze sull'orizzonte, sebbene siano in sè di grandezze diverse, perchè sezioni di uno stesso cono fatte a diverse distanze dal vertice, noi che le osserviamo tutte da questo vertice, le vedremo tutte di pari grandezza. Dunque è vano attribuire le differenze delle grandezze apparenti alle differenze di grandezza delle immagini.

Io penso bene che altri, non pago delle spiegazioni addotte del fenomeno, sia venuto immaginando alcun che di simile a ciò che io propongo, ma che all'affacciarsi di questa obbiezione se ne sia rimaso. L'obbiezione, a guardarla, dà un poco indietro. Le due rette che dalle due estremità di un oggetto vengono al centro della pupilla formano *l'angolo visuale*, misura della *grandezza angolare* dell'oggetto. Gli assi dei due fasci di luce partiti da quelle estremità e rifratti negli umori dell'occhio formano un altro angolo opposto al primo, e dopo cadono sulla parte sensitiva dell'occhio che è la retina; quest'angolo misura la grandezza della immagine sulla retina; alla quale grandezza corrisponde, giusta ogni probabilità, la *grandezza apparente* dell'oggetto. Ma i due angoli non sono eguali, ed è un fatto che le grandezze delle immagini sulla retina, ossia le grandezze apparenti, non sono proporzionali alle grandezze angolari degli oggetti per una distanza costante. Questo ci fa pensare che le grandezze delle immagini sulla retina non siano eguali nemmeno per grandezze angolari uguali di oggetti a distanze diverse. E invero, sebbene sia salva in tutti i casi l'eguaglianza dell'angolo visuale, varia poi dall'uno all'altro la divergenza dei raggi che vengono da ogni singolo punto dell'oggetto, e varia l'occhio medesimo nella disposizione delle sue parti per accomodarsi alle distanze. La seconda variazione ha bensì per suo fine di togliere le conseguenze della prima e condurre in tutti i casi il fuoco sulla retina, ma è egli provato che raggiunga il fine serbando inalterata la grandezza della immagine sulla retina? Questa condizione non solo non è necessaria, ma è una condizione onerosa che esige per sè medesima un altro cangiamento nelle parti dell'occhio. Che se per le immagini dell'astro che appariscono a diverse ma tutte grandi distanze, la divergenza dei raggi, partiti da ogni singolo punto ed accolti dall'occhio, non varia come quando si tratta di oggetti situati realmente a distanze diverse non grandi, è pur sempre cosa probabile che l'occhio, avendo ad esercitare la sua virtù per cammini, o spazii d'aria illuminata, diversamente estesi, muti alquanto la disposizione delle sue parti; e così la grandezza apparente dell'astro non torni ne'diversi casi la stessa quantunque l'angolo visuale sia il medesimo. Ora l'obbiezione riferita scambia le grandezze apparenti con le grandezze angolari: le immagini tanto più grandi in sè quanto più sono lontane, tornano bensì uguali per l'osservatore nella grandezza angolare, ma non è dimostrato che tornino eguali anche nella grandezza apparente. L'opinione

ch'io metto innanzi non è dunque vinta dalla obbiezione; egli è probabilissimo che ad uguale grandezza angolare le immagini più grandi, come che s'impiccoliscano all'occhio per le distanze maggiori, tuttavia non giungano al segno da uguagliare nella grandezza apparente le più piccole e più vicine, e che quindi, fatta ragione della differenza delle distanze, rimanga pur sempre una differenza delle grandezze apparenti che basti a spiegare il fenomeno di cui si tratta. Così delle due immagini, l'una col diametro 12, l'altra col diametro 1, la prima s'impiccolisce nel diametro per la distanza non 12 tanti che la seconda, ma meno di 12 tanti; per lo che non riescono eguali a vedersi, ma la prima apparisce più grande che la seconda.

Queste differenze sono manifeste in molti fatti ovvii. Un libro a un metro dall'occhio vi copre per appunto la luce di una finestra distante 20 metri; senza mutare distanze fate un po'da una parte il libro, che apparisca la finestra intera; guardate ora il libro e la finestra, vi pare che siano essi grandi egualmente? No certo; la grandezza angolare è la stessa, ma la grandezza apparente è ben diversa. Questo fatto e il fenomeno delle diverse grandezze apparenti del sole e della luna sono una cosa.

La grandezza apparente delle costellazioni varia al variare della loro altezza sull'orizzonte, perchè all'occhio nostro tutto quanto il cielo stellato si projetta sul limite azzurro dell'atmosfera visibile, e così per geometrica ragione avviene degli spazii fra gli astri come delle grandezze dei corpi sole e luna. Egli è pure la mercè di questa projezione del cielo (CZC, fig. 192) sulla

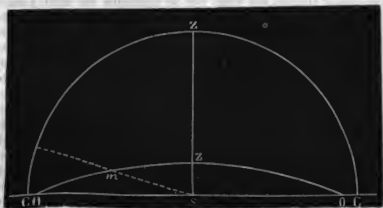



Fig. 192.

parte di atmosfera (OZO) che posa sul nostro orizzonte (OO), la quale parte non è emisferica ma è un segmento di breve freccia, se le stelle sembrano attaccate a una volta depressa al zenit (Z) e che si protende moltissimo tutto all'ingiro verso l'orizzonte (OO).

Riferisco un altro fatto che sta con questi e dipende dalla medesima causa. Quando lo sguardo, staccatosi dall'orizzonte, sorge a percorrere nel cielo stellato un arco verticale che mette allo zenit, fa 90° di giro. Se ci proviamo a dividere ad occhio in due parti eguali l'arco percorso, e fissata una stella che sembri segnare la divisione ed essere proprio ad eguale distanza dallo zenit e dall'orizzonte, misuriamo l'altezza sua sull'orizzonte, troviamo che non è di 45° ma è solo di circa 23°. La ragione è chiara: noi dividiamo ad occhio per metà, non il quadrante (CZ) della sfera celeste, ma la projezione (OZ) di esso in sul limite azzurro dell'atmosfera, giacchè è questa projezione che noi vediamo; ora la visuale (S*m*) al punto di mezzo della projezione depressa (OZ) è molto più vicina all'orizzonte (SO) che alla verticale (SZ).

Concludo: la volta celeste che noi diciamo di vedere è la superficie limite dell'atmosfera visibile, sulla quale prospettiamo tutti i corpi del firmamento. Dalla forma di questa superficie dipendono tutte le variazioni apparenti delle grandezze celesti nel moto della sfera.

298. *Rotazione della luna.* Le macchie che noi osserviamo nella luna (fig. 177-183) serbano tutte il loro proprio luogo, e rimangono press'a poco nella medesima posizione in rispetto alla circonferenza del disco. Quindi è chiaro che la luna tiene rivolta alla terra costantemente la medesima superficie: l'emisfero che noi vediamo della luna è in ogni tempo il medesimo, l'altro emisfero ci è sempre celato. Questo fatto a primo aspetto pare una prova che la luna non abbia moto di rotazione in sè stessa, ma chi bene lo guardi è una prova del contrario. A verificare se l'astro si rivolge in sè stesso o non si rivolge, convien vedere se le diverse rette immaginabili dentro il suo corpo serbano invariate le direzioni loro nello spazio, o se ve n'ha che vadano cangiando la propria direzione mentre l'astro passa da un luogo ad un altro. Or bene, poichè la luna riguarda sempre con la medesima faccia alla terra, quel raggio (L*a*, fig. 193) del corpo lunare che è diretto al centro della terra (T) si conserva diretto di continuo a questo centro; esso raggio dunque non tiene una direzione co-

stante nello spazio, ma si gira intorno al centro della luna mano mano che la luna si move intorno alla terra; e propriamente si gira nello stesso verso e con la stessa velocità angolare di questo moto (1). Per ciò è dimostrato che la luna, mentre si move intorno alla terra, si rivolge anche nella medesima direzione intorno a un suo diametro quasi perpendicolare al piano dell'orbita, e che i due moti sono così commisurati insieme che il tempo necessario a fare una rivoluzione intorno al diametro è appunto quello che ci vuole a consumare un giro intorno alla terra, cioè 27 giorni e 1/3 (§ 295). È come se un uomo girasse intorno ad un albero tenendosi tuttavia col viso rivolto ad esso; mentre fa un giro intorno all'albero convien pure che faccia una giusta rotazione sopra di sè per avere il viso rivolto sempre all'albero.

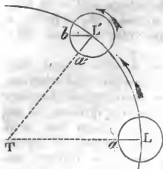



Fig. 193.

299. *Librazione della luna.* Le macchie della luna rimangono press'a poco nella medesima posizione rispetto al lembo del disco, non però esattamente. Si scorge in esse tutte certi piccoli moti oscillatorii, un avvicinarsi e uno scostarsi alquanto dal lembo, ed anche un nascondersi delle estreme ed uno scoprirsi a periodi. Siccome le macchie in questo fare non cangiano punto le loro mutue posizioni, così è manifesto che il moto oscillatorio veduto nelle macchie appartiene a tutto il corpo lunare. Il fenomeno si chiama *librazione della luna;* fu avvisato da Galileo.

Tre cause inducono nella luna tre librazioni particolari, e queste librazioni componendosi insieme formano la librazione complessa che si osserva.

(1) Quando la luna è in L si vede nel centro del suo disco un certo punto *a*; allora il raggio L*a* è diretto alla terra T. La luna passi in L'. Se nel tempo del passaggio la luna non girasse intorno al proprio centro, il raggio L*a* verrebbe ad avere la direzione L'*b* parallela alla prima; e noi vedremmo il punto *a* traslocato dal centro del disco presso al lembo in *b*; ma non è così; il punto *a* lo vediamo ancora al centro del disco in *a'*, quel raggio è ancora diretto alla terra. Dunque la luna, mentre passava da L a L', si rivolgeva pure in sè stessa tanto da portare il raggio L*a* nella direzione L'*a'*, cioè si rivolgeva dell'arco *ba'* uguale in misura all'arco LL' percorso nell'orbita.

1.° Il moto di rotazione della luna intorno al suo diametro è uniforme, e l'altro moto nell'orbita è alquanto vario (§ 295); perciò sebbene la durata di una rotazione intera sul diametro eguagli la durata di un giro intero nell'orbita, la velocità angolare dell'un moto non è uguale in ogni tempo a quella dell'altro, ma il moto vario nell'orbita è quando più veloce quando più lento del moto uniforme di rotazione. Così quest'ultimo, per effetto del quale ciascuna macchia tende a conservare la sua posizione apparente, è ora in ritardo ora in sopravanzo coll'altro moto che tende a mutare codesta posizione; quindi le macchie si trovano ora al di qua ora di là dei luoghi in cui apparirebbero ferme se non intervenisse discordanza tra i due moti; e così pare a noi ch'esse vadano oscillando. Questa librazione si dice *in longitudine*, perchè l'oscillare delle macchie segue nella direzione del piano dell'orbita lunare che è press'a poco la direzione del gran cerchio dell'eclittica lungo il quale si misura la longitudine degli astri (§ 275).

2.° Il diametro intorno a cui la luna si rivolge non è esattamente perpendicolare al piano dell'orbita; esso devia dalla perpendicolare di circa 6°, 37', e siccome si mantiene parallelo a sè stesso nel moto della luna per l'orbita, così ne conseguita una librazione delle macchie che si dice *in latitudine* perchè è diretta perpendicolarmente al piano dell'orbita lunare, o quasi perpendicolarmente al piano dell'eclittica (1).

3.° Noi guardiamo la luna dalla superficie della terra, non dal centro. Da ciò solo una terza librazione che si chiama *diurna* perchè si ripete ogni giorno. E invero, supponiamo che non ci siano le altre due librazioni; la retta che unisce i due cen-

(1) La retta LL' (fig. 194) sia il profilo del piano dell'orbita lunare; T il luogo della terra. Quando la luna è in L noi vediamo il suo polo q, non l'altro;

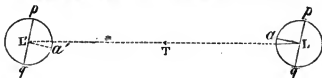



Fig. 194.

quando la luna, percorsa mezza l'orbita e fatto un mezzo giro sopra sè, è passata in L' noi vediamo il suo polo p, l'altro si è celato. Nelle macchie avviene un movimento simile a questo dei poli; una macchia a dell'equatore lunare nella prima posizione della luna si vede al di sopra del centro del disco, nella seconda si vede al di sotto, in a'.

tri della terra e della luna passerà sempre per uno stesso punto della superficie della luna. Ora, quando la luna è al zenit (L, fig. 195) questa retta passa per il centro (a) del suo di-

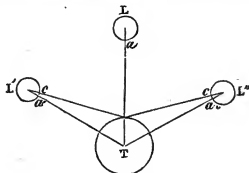



Fig. 195.

sco, e se ivi è una macchia, noi vediamo la macchia nel centro. Ma non è così nelle altre ore del giorno che la luna è lungi dallo zenit. Quando la luna (L') è ancora bassa verso est, la retta che unisce i due centri non passa più per il centro (c) apparente del disco, ma passa un po' sotto verso est (in a'), dunque la macchia che si trova su quella retta la vediamo sotto il centro verso est; e similmente quando la luna (L") declina verso ovest, la vediamo sotto il centro verso ovest (in a''), onde pare a noi che nel corso del giorno la macchia oscilli una volta al di qua e al di là del centro. Un moto somigliante si vede in tutte le altre macchie rispetto alla loro posizione media.

Per una macchia che sia nel centro del disco l'ampiezza totale della librazione in longitudine è di circa 4', 20", o press'a poco $1/7$ del diametro apparente della luna; l'ampiezza totale della librazione in latitudine è di circa 3', 35"; e della diurna è di soli 32". Le tre librazioni, componendosi insieme per ogni macchia, danno il fenomeno complesso, la cui spiegazione fu iniziata da Galileo, proseguita da Domenico Cassini, e ricercata poi ne' più minuti particolari da molti celebri matematici. Il fenomeno è meramente ottico; non è già che il corpo della luna, oltre i due moti per l'orbita e intorno al diametro, patisca in effetto quelle oscillazioni che le macchie danno a vedere, ma è che per i due moti della luna le nostre visuali ai singoli punti dell'astro mutano direzione per rispetto a quella

visuale che batte al centro apparente di esso. Occorrono però nelle librazioni ottiche qui accennate certe periodiche ineguaglianze, piccolissime invero, che dipendono da librazioni reali della luna, e vedremo poi quale ne possa essere la cagione.

Per la librazione in latitudine si venne dunque a conoscere che l'asse di rotazione della luna devia di circa 6°, 37′ dalla perpendicolare al piano dell'orbita; questa deviazione è nel senso che porta l'equatore lunare verso il parallelismo all'eclittica, perciò l'equatore della luna fa coll'eclittica un angolo eguale alla differenza tra l'inclinazione dell'orbita all'eclittica e la deviazione dell'asse di rotazione dalla perpendicolare al piano dell'orbita (5°, 9′ — 6°, 37′ = — 1°, 28′), cioè un angolo di circa 1°, $\frac{1}{2}$.

300. *Aspetto della terra veduta dalla luna.* La terra, chi fosse nella luna a rimirarla, è come un disco quasi circolare, dal diametro di circa 2°, o più di 3 volte e $\frac{2}{3}$ il diametro che ha la luna per noi; l'ampiezza dunque è più che 13 tanti quella che noi vediamo del disco lunare (§ 261). Basta un poco di considerazione (V. fig. 186) per restare capaci che la terra deve là offrire delle fasi conformi alle fasi che qui offre la luna, ma in ogni tempo complementarie di queste. Quando per noi è luna nuova la terra dee vedersi piena, e inversamente quando la luna è nel suo primo quarto la terra dev'essere nell'ultimo quarto; se qui vediamo illuminato $\frac{1}{3}$ solo del disco lunare, di là si dee vedere illuminati $\frac{2}{3}$ del disco terrestre e così via.

Da tutti i luoghi dell'emisfero della luna rivolto costantemente a noi la terra è visibile di continuo. Se non vi fossero librazioni in longitudine e in latitudine, da ciascuno di quei luoghi si vedrebbe il centro della terra situato sempre alla stessa guisa, cioè la terra immobile alla stessa altezza nel cielo; sempre al zenit dal luogo che per noi è nel centro del disco, e più e più bassa verso l'orizzonte dai luoghi mano mano rimoti da quello. Dall'altro emisfero la terra non sarebbe visibile mai. Ma le librazioni in longitudine e latitudine fanno variare questi aspetti. Da ogni luogo dell'emisfero a noi rivolto dee vedersi la terra oscillare intorno a una certa posizione media, e dai luoghi un po' oltre il confine di questo emisfero dee vedersi tramontare e risorgere sull'orizzonte; così il complesso dei luoghi donde la terra non è visibile mai fa un po' meno di un emisfero.

Le fasi che noi osserviamo della luna ci dicono i diversi

aspetti che la luna va mutando col sole, e però ci dicono la vicenda che vi hanno il giorno e la notte. Giacchè ogni punto della superficie dell'astro lo vediamo press'a poco immoto nel disco, è chiaro che il sole ci mette a fare un giro apparente intorno alla luna tutto il tempo che corre in un periodo intero delle fasi; dunque la durata del giorno sulla luna è la durata della lunazione, cioè 29 ½ dei nostri giorni di 24 ore, la metà circa per il giorno e l'altra per la notte con pochissima variazione nel corso dell'anno. Nelle sue lunghe notti l'emisfero che ci guarda è rischiarato bene dal lume riflesso dalla terra, la quale dal centro del disco si vede fare il suo primo quarto al principio d'ogni notte lunare e poi crescere in terra piena e in seguito scemare, e far l'ultimo quarto sullo scorcio della notte (vedi la fig. 186 dove si immagini rappresentata la terra da un circoletto col centro in T).

301. *Costituzione fisica della luna.* Nel disco lunare (mi giovino le parole di Galileo) vediamo già ad occhio libero una distinzion magna di alcuni gran campi più risplendenti e di altri meno. Al telescopio vi scorgiamo una moltitudine di eminenze e di cavità, le quali eminenze sono aspre e scoscese montagne, e molte sono, a così dire, argini assai rilevati, che racchiudono e circondano pianure di diverse grandezze e formano varie figure, ma la maggior parte circolari; parecchie di queste, e sono delle maggiori piazze, hanno un monte nel mezzo; il numero poi delle minori e minori è grandissimo, e pur quasi tutte circolari. Si vedono i dorsi delle eminenze esposte al lume del sole chiari assai, e dopo di loro le projezioni delle ombre oscurissime; e queste si vedono minori o maggiori, per la varia obbliquità dei raggi solari, secondochè le eminenze si trovano più o meno distanti dal confine che distingue la parte della luna illuminata dalla tenebrosa; e si vede l'istesso termine o confine non egualmente disteso, qual sarebbe se la superficie fosse pulita, ma anfrattuoso e merlato (la figura 196 rappresenta la luna al primo quarto); e si vede oltre al detto termine nella parte tenebrosa molte sommità illuminate e staccate dal resto già luminoso. Le parti meno risplendenti sono di superficie piana con pochi scogli e argini dentrovi; il restante più chiaro è tutto pieno di scogli, montagne, arginetti rotondi e di altre figure; ed in particolare intorno alle macchie sono grandissime tirate di montagne (1).

(1) Galileo. *Lettere delle sinuosità e apparenze della luna*, nel T. III della edizione dell'Alberi. — *Dialogo intorno ai due massimi sistemi.* T. I della ediz. sudd.

Le macchie non sono già ombre di monti perchè si vedono anche a luna piena quando i raggi solari investono i monti per

Fig. 196.

tutte parti, e inoltre le ombre sono oscurissime e le macchie son bigie. Evelio denominò *mari* codeste macchie bigie che fanno circa ²/₃ della superficie visibile della luna, ma invero sono luoghi secchi, ronchiuti, in cui le asprezze, come osservò Galileo, hanno meno rilievo che nei luoghi più chiari. Si dicono mari pur tuttavia.

Dietro l'esempio di Riccioli si imposero alle diverse regioni montuose della luna i nomi di celebri uomini antichi e moderni o di montagne terrestri.

Le altezze dei monti lunari si riesce a valutarle abbastanza bene o con le lunghezze delle projezioni delle ombre o con le distanze che le sommità, quando appariscono illuminate nella regione tenebrosa, hanno dal confine della parte in luce.

Le diligenti osservazioni e misure di Beer e Maedler (1) ci diedero notizia di molti particolari dei luoghi della luna. I due monti più alti *Dorfel* e *Newton* sorgono, l'uno 7603 metri, l'altro 7264^{m}, cioè meglio che il Chimborazo (6530^{m}). Ve ne ha due altri che pure superano il Chimborazo e sono detti *Casato* (6956^{m}) e *Curzio* (6769^{m}), e più di 20 che passano il nostro monte Bianco (4810^{m}).

Si scorgono in maggior numero che sulla terra montagne non addossate le une alle altre, ma libere ciascuna all'ingiro fino alla radice, per lo più disposte in serie senz'ordine e qualche volta in cerchia regolare intorno ad uno spazzo che per molte scese all'ingiro dà sulle regioni esterne. Vi sono altipiani ben vasti da cui si spiccano parecchi monti di varia forma; vi sono catene di montagne più basse, e regioni tutte sparse di colli.

Le forme più notevoli per la moltitudine e l'ampiezza sono quegli argini di che parla Galileo e che ora si chiamano *crateri*. L'argine circolare sorge pressochè diritto nell'esterno e concavo nell'interno, e la cavità sferoidea ch'esso cinge si sprofonda quasi sempre sotto il livello del piano di fuori (fig. 197).

Fig. 197.

Le montagne isolate che si erigono da alcune di tali più grandi cavità non giungono mai all'altezza dell'argine. E l'argine non è sempre circolare, è talvolta ellittico; in qualche luogo ve n'ha moltissimi così stipati insieme che la figura di cerchio vi è ri-

(1) Dal 1834 al 1836 Beer e Maedler pubblicarono una bella carta della luna a cui fecero seguire un ampio commentario che considera la luna in sè stessa e nelle sue relazioni con gli altri corpi celesti. *Der Mond nach seinen kosmischen und individuellen Verhältnissen*, ecc. Berlino 1837.

dotta come per forza a figura di poligono. In certi crateri l'argine ha larghi squarci a guisa di porte. V'è pure qualche esempio di un cratere dentro di un altro.

I crateri della luna differiscono da quelli dei vulcani terrestri per due condizioni: l'una che mostrano tutti il loro fondo, mentre dei terrestri, e siano pure spenti, non tutti lo mostrano, anzi alcuni lo perdono in veri abissi; l'altra che sono molto più vasti assai. Ticone, p. e., ha in diametro 91200^m, Archimede 87500^m, e qui il cratere dell'Etna non passò mai i 1500^m, nè il cratere del Vesuvio i 700^m. Non pare dunque che i crateri della luna abbiano avuto origine per eruzione; è piuttosto da pensare che siano stati prodotti per sollevamento, come quelle cerchie montane della nostra terra che in Geologia si dicono appunto crateri di sollevamento, p. e. la cerchia dell'isola di Ceylan del diametro di 70000^m, la cerchia dell'Oisans nel Delfinato del diametro di 20000^m.

Alcuni crateri sono lucidissimi, quasi che il loro concavo faccia da specchio e dia una immagine del sole, tale è, p. e., Aristarco (1).

Sette delle più grandi montagne anulari sono circondate ciascuna da liste chiare disposte a raggi che compongono un'aureola; queste liste sono a livello del suolo, non rilevate; si stendono attraverso a piani monti, cavità; a qualche distanza dalla montagna si dividono in rami e si collegano insieme per righe trasversali.

Nella luna si distinguono anche certe solcature lunghe e strette, qua diritte, là curve e sinuose o a svolte rapide, e corrono il maggior numero per 40 o 50 miglia (da 60 al grado) e poche per oltre a 100 miglia. Che sono esse mai? fiumi no, perchè non scendono da monti, e poi si vedono entrare nelle cavità e risalirne fuori; strade artificiali nemmeno, chè la larghezza è più 600 metri, e inoltre ve n'ha di parallele tra loro e distanti solo 8 miglia l'una dall'altra, nè vanno a finire in luoghi notevoli, ma sono tronche in campo aperto.

(1) W. Herschel nel 1787 credette di vedere nella parte oscura della luna tre vulcani ardenti; è probabile che i tre punti rossicci osservati da Herschel siano i tre monti anulari Aristarco, Keplero e Copernico che spesso al telescopio vedonsi nella parte oscura illuminati e brillare come ad occhio libero le stelle di quarta grandezza.

Ricordo qui un'altra osservazione che pure non ebbe conferma. Ulloa nell'eclisse totale di sole del 1778, vide nella luna un punto luminoso che venne a brillare come le stelle di 4.^{a}, di 3.^{a}, di 2.^{a} grandezza. Egli pensò di aver veduto il sole per un foro che attraversi la luna.

È evidente dalle macchie che le varie parti della superficie della luna riflettono la luce in diverso grado, ma vi sono differenze anche di colore: p. e. il mare della Serenità è d'un bel verde, il mare del Freddo è d'un giallo-verde sbiadato.

La luna ha essa la sua atmosfera come la terra? L'atmosfera della luna, se vi è, non porta mai nubi che vengano a nascondere alla nostra vista alcuna di quelle cose che siamo soliti di scorgere sulla superficie dell'astro. Molti negano l'esistenza anche di un'atmosfera lunare sempre limpida, perchè dicono che non v'è indizio di rifrazione alla superficie della luna. Quando la luna è falcata, dicono essi, non apparisce vestigio di crepuscolo lungo il confine della parte oscura e della chiara, e se apparisse, come sembrò a Schroeter di vedere, non proverebbe in modo necessario che vi sia un'atmosfera, essendo che la grandezza del sole basta a produrre sulla luna una specie di crepuscolo o penombra. Una stella che si occulti dopo il corpo della luna rimane invisibile tutto il tempo necessario al passaggio della luna per la corda dell'occultazione; l'atmosfera, se vi fosse, rifrangendo i raggi della stella abbrevierebbe questo tempo, sì col ritardare all'occhio il principio dell'occultazione e sì coll'anticiparne la fine. Parecchi all'incontro sostengono d'aver veduto segni di un'atmosfera lunare, p. e. cangiamenti di splendore, di tinta, di figura in qualche stella un po' prima che si occulti dietro la luna. Una opinione che sta e coi fatti negativi e coi positivi è che la luna abbia un'atmosfera sempre limpida ma di sì poca altezza che i monti e gli altipiani la sopravanzino di gran lunga. Così quando una stella si cela dietro una regione montuosa della luna, ed è il maggior numero delle volte, scompare senza dar segno dell'atmosfera; e quando va a celarsi dietro una parte dell'orlo lunare che sia depressa, porge indizi dell'atmosfera. Le osservazioni diranno se così è diffatto.

Se la luna è veramente priva di atmosfera non vi può essere nemmeno acqua alla superficie sua, perchè l'acqua vi passerebbe subito allo stato di vapore e formerebbe un'atmosfera.

Non si hanno ancora osservazioni di cangiamenti fisici avvenuti nella superficie della luna; la mancanza di pioggie, e fors'anche di venti e di acqua, è ivi una condizione di stabilità [1].

(1) Sarà mai possibile a noi di vedere nella luna con sufficiente chiarezza un oggetto grande come un uomo? La distanza massima a cui una vista

302. *Eclissi di sole e di luna.* Le leggi dei moti del sole e della luna rispetto alla terra ci dimostrano le condizioni che danno origine e forma agli eclissi (§ 141). Gli eclissi di sole avvengono sempre al novilunio, quelli di luna al plenilunio; perchè al novilunio la luna passando fra la terra e il sole può nascondere ai nostri occhi una parte di sole più o men grande; al plenilunio la terra trovandosi fra sole e luna può col suo corpo impedire ai raggi solari di giungere alla luna, e allora questa ci pare ottenebrata. Vediamo come sia possibile e l'una cosa e l'altra.

Eclisse di sole. L'ombra che la luna (L, fig. 198) getta dalla

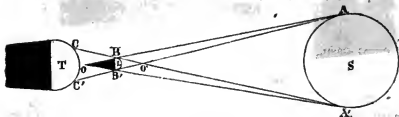



Fig. 198.

parte opposta al sito del sole (S) è un cono (BOB') la cui lun-

acutissima può distinguere senza cannocchiale un uomo è di un miglio da 15 al grado: noi siamo distanti dalla luna 510000 di queste miglia; a vedere un uomo nella luna ci vorrebbe dunque un cannocchiale d'un ingrandimento lineare di 510000 volte. Fin qui l'ingrandimento lineare massimo che si è potuto applicare nelle osservazioni della luna, in guisa da averne risultamenti paragonabili tra loro, non supera di molto le 300 volte! I telescopi d'un ingrandimento lineare di 1000, 2000.... 6000 volte servono bensì a vedere più splendide le stelle fisse, che sono tanti soli ed appariscono sempre come punti, ma non si può applicarli ad osservare la luna perchè questa ingrandisce effettivamente al telescopio, e la sua luce è troppo debole da comportare un ingrandimento di quel valore. Quando un dato spazio, nel campo di un telescopio avente una certa apertura, dà a vedere una gran parte del disco lunare si vede questa parte bene illuminata, perciocchè i punti della superficie lunare, che mandano luce su quello spazio sono molti, sono tutti i punti della parte rappresentata. Mano mano che l'ingrandimento cresce, viene ad escire da quello spazio l'immagine di più e più luoghi che prima vi era; l'estensione di superficie lunare ivi rappresentata si riduce sempre a meno, perchè la immagine sua è fatta sempre più grande; ma così anche i punti che mandano luce per quella apertura su quello spazio riduconsi a minor numero, e l'immagine ingrandita riesce meno chiara. Si arriva presto a tale che un ulteriore ingrandimento, estinguendo la luce, manda l'immagine in dileguo. Col dare al telescopio un'apertura maggiore si rimove un poco il termine a cui l'immagine svanisce, ma questo espediente ha dei limiti, e per sè solo non ci avvicina gran fatto allo scopo. A vedere un uomo nella luna bisognerebbe non solo migliorare i telescopi ma anche poter illuminare la luna molte centinaja di volte di più.

ghezza (distanza del vertice dal centro della luna, cioè OL) varia tra 59,73 e 57,76 raggi terrestri, secondochè i due astri sono più o meno distanti l'uno dall'altro. La distanza (TL) tra il centro della terra e il centro della luna sappiamo che non è costante (§ 295); il suo valore minimo è di 55,947 raggi terrestri; dunque si vede che il cono d'ombra della luna può giungere fino alla terra (fig. 199). I punti della superficie ter-

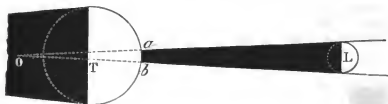



Fig. 199.

restre (fra *a* e *b*) sui quali viene a cadere quel cono rimangono privi d'ogni raggio di sole, in essi è l'eclisse *totale*. Nei luoghi dove transita l'asse medesimo del cono d'ombra si dice che l'eclisse è *centrale*, giacchè ciascuno di quei luoghi si trova alla sua volta sulla retta che passa per il centro della luna e del sole. La distanza massima tra il centro della terra e il centro della luna è di 63,802 raggi terrestri; per questa distanza e per le altre maggiori di 59,73, il cono dell'ombra non giunge fino alla superficie della terra (fig. 200); allora l'eclisse non è totale in nessun luogo; dall'emisfero terrestre volto al sole non

Fig. 200.

si vede celata che una parte dell'astro; l'eclisse è *parziale*. E v'ha dei luoghi dove l'eclisse parziale offre un aspetto notevole, e sono quelli (tra *c* e *d*) compresi nel cono opposto

pel vertice al cono d'ombra; da questi nel tempo di mezzo dell'eclisse si vede la parte media del sole coperta dalla luna come da un cerchio nero, e l'altra parte all'ingiro si vede in forma di anello brillante che cinge quel cerchio: è l'eclisse *anulare* (fig. 201).

Fig. 201.

Mentre in alcuni luoghi l'eclisse è totale od anulare, in molti luoghi all'intorno di essi, cioè in tutti quelli che sono pure compresi nel cono (CO'C', fig. 198) della penombra (§ 141), l'eclisse è parziale senz'altra particolarità, e si vede la luna che va a coprire una porzione di sole tanto più grande quanto più questi luoghi sono vicini ai primi (fig. 202).

Fig. 202.

Il cono di penombra della luna (CO'C', fig. 198) dove dà sulla terra, non è mai tanto largo da comprendere tutto un emisfero terrestre; però mentre alcuni luoghi hanno l'eclisse di sole, v'è sempre un gran numero d'altri luoghi che il sole è tutto visibile e sono senza eclisse.

Si dice principio dell'eclisse l'istante in che il disco della luna pare che giunga a toccare per di fuori quello del sole; fine dell'eclisse l'istante in che i due dischi tornano a toccarsi l'uno fuori dell'altro per disgiungersi.

La durata massima d'un eclisse di sole è di 4 ore 29^m, 44^s per un luogo all'equatore, e di circa 3 ore $^1/_4$ alla nostra latitudine. Negli eclissi totali la luna non può tener celato tutto il sole per più di 7^m, 58^s all'equatore e di circa 6^m, 15^s nel nostro paese. Negli eclissi anulari la luna non può rimanere tutta in faccia del sole per più di 12^m,24^s all'equatore, e 10^m alla latitudine nostra. Al di qua di tali termini massimi la durata dell'eclisse può variare comunque.

Eclisse di luna. L'ombra che la terra (T, fig. 203) getta dalla parte opposta al sito del sole (S) è un cono (BOB') la cui lunghezza media (OT) è uguale a 216 raggi terrestri. La luna che dista 60 raggi dalla terra può, non solo entrare in questo cono, ma anche immergervisi tutta quanta, perchè la sezione del cono alla distanza di 60 raggi dalla terra ha un diametro ben maggiore di un raggio terrestre, e il diametro

della luna è meno di un raggio terrestre. Se la luna si immerge solo in parte nel cono d'ombra della terra, l'eclisse è *parziale*, se vi si immerge tutta è *totale*.

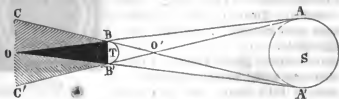



Fig. 203.

Nell'eclisse parziale l'ombra della terra piglia spazio sul disco della luna mano mano che questa vi si immerge, ma non arriva a coprirlo tutto, poi cede spazio poco a poco, e se ne rimove affatto; il contorno dell'ombra, segnato sul disco della luna è un arco di circolo, e prova, come si disse (§ 252), la rotondità della terra. Nell'eclisse totale il disco della luna si immerge nell'ombra della terra fino ad esserne tutto coperto, la attraversa in un tempo più o meno lungo, e poi emerge offrendo in ordine contrario tutti gli aspetti già prima offerti nella immersione. Ma il confine tra la parte in luce e la parte eclissata non è mai una linea netta. La penombra della terra (BCC'B') fa che vi sia una digradazione insensibile di lume dai punti lunari che sono esposti a tutta la irradiazione del sole ai punti che già ne perdettero una parte. Un'altra circostanza concorre al medesimo effetto, ed è la rifrazione dei raggi solari nell'atmosfera terrestre. Un raggio di sole che attraversa l'atmosfera a filo della terra ne riesce deviato per un buon grado verso la terra e così entra nel cono d'ombra di questa, e giunge all'asse (in D, fig. 204) molto al di qua del vertice (O). I raggi

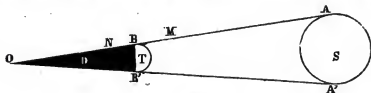



Fig. 204.

che lambiscono a questo modo la terra formano un cono secondario (BDB') dentro l'ombra, dal quale è l'ombra divisa in

due regioni: l'una quella interna ad esso cono, e non vi giunge raggio; l'altra la esterna (BDB'O) e vi corrono dei raggi che furono rifratti nella nostra atmosfera. La distanza del vertice (D) del cono secondario dal centro (T) della terra è di circa 42 raggi terrestri, però la luna non attraversa mai questo cono, ma passa sempre al di là, ed ivi non perde mai ogni luce ma viene debolmente rischiarata dai raggi rifratti. Così non è dato cogliere il giusto istante che un certo punto della luna passa dalla penombra nell'ombra vera. I raggi rifratti che ne vanno per l'ombra vera sono rossastri, perchè l'aria rapisce in maggior copia dalla luce bianca i raggi più rifrangibili (§ 188), e trasmette poi una luce dove prevalgono i meno rifrangibili ed è rossiccia.

Gli Antichi non ignoravano la vera cagione degli eclissi, ma v'è un caso che non riuscivano a spiegare. Perchè la luna sia eclissata, dicevano essi, bisogna che i centri dei tre corpi, sole, terra e luna, si trovino su d'una medesima retta; ora, come avviene che talvolta si vede l'eclisse di luna, mentre il sole è pur esso visibile? Noi sappiamo che la rifrazione dei raggi solari nell'atmosfera ci rende visibili gli astri per un po' di tempo dopo che sono calati sotto l'orizzonte, però intendiamo subito come il fenomeno possa darsi; e si diede in Toscana nel 1660, a Parigi nel 1668.

La grandezza di un eclisse, e di sole e di luna, è il rapporto tra la massima parte eclissata dell'astro e la parte che rimane in luce. Per esprimere tale grandezza si immagina diviso il disco dell'astro in 12 zone parallele ugualmente larghe, che chiamansi *digiti*, e ogni digito suddiviso similmente in 60 parti uguali che chiamansi *minuti*, e si nota quanti digiti e minuti è la parte massima eclissata. Così, ove sia eclissato un terzo o la metà del disco, si dice che l'eclisse è di 4 o 6 digiti. Quando l'eclisse di luna è totale e la corda percorsa nell'ombra dal centro della luna è maggiore del diametro della luna, l'eclisse è grande più di 12 digiti, e questi si numerano sulla corda percorsa.

Se la luna girasse intorno alla terra mantenendosi nel piano dell'eclittica, ci sarebbe un eclisse di sole ad ogni luna nuova ed un eclisse di luna ad ogni luna piena. Ma gli eclissi tornano assai meno frequenti, perchè l'orbita della luna è inclinata al piano dell'eclittica (§ 295), e però la luna si trova o da una parte di questo piano o dall'altra, ond'essa nelle sizigie passa d'ordinario tanto lungi dalla retta che unisce il cen-

tro del sole col centro della terra quanto basta a non dare l'eclisse.

Gli eclissi di sole ricorrono più frequenti che quelli di luna; è facile vederne la ragione: si immagini il cono che inviluppa il sole e la terra (il cono AOA', fig. 204); per l'eclisse della luna deve la luna entrare nel cono dalla parte (N) opposta a quella dov'è il sole; per l'eclisse di sole deve la luna entrare nel cono dalla parte stessa (M) dov'è il sole; ora la sezione del cono è molto minore dalla prima parte che dalla seconda, dunque ne' suoi giri la luna deve incorrere in questo cono meno spesso dalla prima parte che dalla seconda. Tuttavia in un dato luogo gli eclissi di sole sono sempre più rari che quelli di luna, e la ragione si è che ogni eclisse di luna è visibile da tutto un emisfero della terra, e un eclisse di sole da poca parte d'un emisfero. Sebbene dunque gli eclissi di sole considerati sulla totalità del globo siano meno rari che gli eclissi di luna, il numero di questi che riescono visibili in un dato luogo è maggiore del numero di quelli. Gli eclissi totali di sole poi sono rarissimi in ciascun luogo, perchè l'ombra della luna o non arriva fino alla terra, o se vi arriva piglia pochissimo spazio. La parte della superficie terrestre su cui passeggia quest'ombra non è che una piccola lista dello spazio totale donde l'eclisse di sole è visibile.

303. *Misura del tempo.* Il tempo, come lo spazio, è una dimensione dell'universo, e noi non ne vediamo i limiti. Fa genere da sè, perciò non possiamo definirlo. Possiamo bensì misurarlo nelle sue parti, col mezzo di movimenti che si ripetano in condizioni invariate, e però tornino tutti eguali tra loro, e inoltre si succedano per modo continuo e si possa numericamente contarli; quali, per esempio, le oscillazioni di un pendolo.

I movimenti che la natura ci mostra universali e perenni e continui e più patenti sono quelli dei corpi celesti. L'uomo li adottò ben presto per misura del tempo.

Giorno solare. Ore. Minuti. La misura prima fu certo per giorni, comprese anche le notti. Questi giorni, poichè ci sono fatti dal moto del sole, si dicono *solari.* Poi ci vollero le divisioni della unità giorno, e i multipli. Una prima divisione si offre in *giorno propriamente detto* dall'orto all'occaso e in *notte.* Siccome la successione delle giornaliere faccende si regola secondo le altezze del sole, così da queste altezze si presero altre divisioni del giorno. Il sole, all'altezza massima, parte

il giorno a mezzo corso (*mezzodì*). Gli Ebrei e i Romani dividevano il giorno in 12 *ore*, e in altrettante la notte, e distinguevano inoltre nel giorno 4 parti di 3 ore ciascuna, dette *prima*, *terza*, *sesta* e *nona*. Prima cominciava al nascere del sole, terza tre ore dopo, sesta al mezzodì, nona tre ore avanti il tramonto. Si vede che in tale sistema le ore variavano di durata col variare della lunghezza dei giorni propriamente detti: nei nostri climi un'ora diurna d'estate valeva quasi due ore dell'inverno: le ore diurne uguagliavano in durata le notturne solo al tempo degli equinozi.

Il giorno in senso generale, cioè con la notte, i Babilonesi e i Persiani lo cominciavano dal nascere del sole, gli Ateniesi e gli Ebrei dal tramontare; e così fecero gli Italiani fino agli ultimi tempi. Adesso le nazioni europee danno principio al giorno dal punto che è ad eguale distanza da due mezzodì consecutivi, ossia dal punto di *mezzanotte:* dividono il giorno in ore tutte eguali, e ne contano 12 progressive da mezzanotte a mezzodì, quindi rifacendosi da capo, ne contano altre 12 da mezzodì a mezzanotte; dicono *ore di mattina* o *antimeridiane* le prime 12, *ore di sera* o *pomeridiane* le altre 12. Gli astronomi invece danno principio al giorno da mezzodì, e numerano le ore di seguito fino a 24 dall'uno all'altro meriggio; così il *giorno astronomico* comincia 12 ore dopo il principio del *giorno civile*. Quando, per esempio, noi diciamo li 2 gennajo alle ore 8 antimeridiane, gli astronomi dicono: il 1.° gennajo a 20 ore. L'ora si divide poi da tutti in 60 parti eguali dette *minuti*, il minuto in 60 parti eguali dette *secondi*, e così di seguito.

Orologi. Giorno sidereo. Tempo vero. Tempo medio. Quegli artifizi fatti acconci ad indicare le ore, e che chiamiamo perciò *orologi*, diedero presto a vedere che l'intervallo fra due successivi ritorni del sole al meridiano, cioè il giorno solare, si cominci poi alla maniera comune o alla maniera astronomica, non è sempre di uguale durata. Sarebbe esso di uguale durata se il sole non avesse un moto proprio nella sfera celeste, e la lunghezza del giorno dipendesse unicamente dalla durata della conversione diurna di questa sfera, o anche se il sole avesse il moto proprio così ordinato che la sua ascensione retta crescesse di quantità uguali in tempi uguali. Ma il fatto è che il sole cresce di ascension retta non equabilmente (§ 273), e ad ogni conversione della sfera celeste noi lo rivediamo traslocato verso est di un breve tratto diverso, ond'è

mestieri che la sfera celeste a rincondurlo nel nostro meridiano faccia, dopo compiuta la conversione, un po' di giro ancora, ma quando più quando meno, e perciò il giorno solare è più o meno lungo. L'intervallo fra due successivi ritorni di una stella fissa qualunque al meridiano, cioè il giorno che si dice *sidereo* ed è un po' più corto del solare, torna bensì di uguale durata in ogni tempo, ma noi non possiamo risolverci di prendere il giorno sidereo come ordinaria unità di misura del tempo invece del giorno solare, perchè il nostro tenore di vita si regola dietro il moto diurno del luminare che ci reca il giorno propriamente detto, alternandolo con la notte. Il principio del giorno sidereo cadrebbe ora in una parte, ora in un'altra del giorno solare, giacchè si trasloca passando successivamente per tutte le parti di questo, e sarebbe grave incomodo misurare il tempo con siffatta unità che l'una succede all'altra talvolta mentre splende il sole, talvolta mentre regna la notte. Ci conviene dunque ritenere a misura del tempo il giorno solare, procurando tuttavia di rendere uniforme questa unità di misura. Di qui la distinzione di giorno *vero* e di giorno *medio*. Il giorno vero è quello che corre tra due consecutivi passaggi reali del sole pel meridiano del luogo, e il giorno medio è quello la cui durata è la media delle durate di un numero di giorni veri tanto grande che valga a compensare tutte le ineguaglianze che alterano la lunghezza di essi (1).

(1) Si finga un secondo sole che percorra di moto uniforme l'eclittica entrando nei due apsidi al tempo stesso che il vero sole; e si finga un terzo sole che vada con moto uniforme per l'equatore entrando nei punti equinoziali al tempo stesso del secondo sole. Questo terzo sole culminerebbe ad uguali intervalli di tempo, e il suo moto ideale darebbe di continuo il giorno medio, onde si chiama esso pure il *sole medio*.

E facile persuadersi che la cosa andrebbe come si è detto. La durata del giorno solare varia perchè varia la quantità di cui esso cresce dal giorno sidereo, e questa quantità varia perchè l'ascension retta del sole va crescendo non equabilmente da un giorno all'altro. Gli aumenti giornalieri dell'ascension retta poi non tornano eguali per due cagioni: l'una che il sole percorre l'orbita sua di moto non uniforme; l'altra che quest'orbita è obbliqua all'equatore. L'obbliquità dell'orbita all'equatore fa che quando pure il sole vi andasse di moto uniforme, l'ascension retta non verrebbe a variare di quantità uguali in tempi uguali. Diffatti, se immaginiamo di aver diviso l'orbita in tanti archi eguali, e di avere condotti per i punti di divisione i meridiani corrispondenti, vediamo che qnesti meridiani vanno a tagliare l'equatore, su cui l'orbita è inclinata, in altrettanti archi ma diseguali tra loro, e tanto più grandi quanto più distano dai nodi, ossia dai punti equinoziali. Se il sole si movesse dunque di moto uniforme nell'orbita, vi percorrerebbe quegli archi eguali in tempi eguali, ma le variazioni corrispon-

Il tempo, se misurasi col giorno vero, si dice *tempo vero*, se misurasi col giorno medio si dice *tempo medio*. La differenza tra il tempo vero e il medio, cioè tra le ore che devono essere indicate nel medesimo istante da due orologi, l'uno a tempo vero, l'altro a tempo medio, si chiama *equazione del tempo* (1). Si costruì una tavola dei valori dell'equazione del tempo per tutti i giorni dell'anno; eccone un estratto che basta a vedere in che modo l'ora di tempo medio va innanzi o resta indietro da quella di tempo vero.

denti in ascension retta, come sono misurate dagli archi diversi dell'equatore, sarebbero diverse.

Si rendono eguali tra loro gl'incrementi giornalieri dell'ascension retta, e però anche le durate dei giorni solari, col togliere le due cagioni delle ineguaglianze. Ora col fingere il secondo sole si toglie la prima di tali cagioni, perchè lo si finge che percorra di moto *uniforme* l'eclittica. La condizione aggiunta che esso entri nei due apsidi al tempo medesimo che il sole vero serve ad assegnare la velocità del moto uniforme in guisa che il secondo sole faccia un giro per ogni giro del primo, e si tenga vicino a questo il più che si può. E tale condizione aggiunta può essere adempiuta insieme con quella che il moto sia uniforme, perchè le variazioni del moto del sole vero sono simmetriche nell'orbita da una parte e dall'altra dell'asse maggiore, e però se il secondo sole trovasi in un apside insieme col vero, esso deve poi trovarsi insieme col vero anche nell'altro apside, quantunque il suo moto sia uniforme in tutto il giro. Col fingere poi il terzo sole si toglie anche la seconda cagione delle ineguaglianze, perchè lo si finge che percorra l'equatore invece dell'eclittica. Dunque i giorni determinati dai passaggi successivi del sole medio per il meridiano riescono tutti eguali.

La lunghezza di ciascuno di essi è veramente la media delle lunghezze di un gran numero di giorni veri. Diffatti si immagini uno spazio qualunque di tempo che comprenda un numero intero di rivoluzioni diurne del sole; in questo tempo il sole medio e il sole vero avranno fatto un egual numero di giri diurni, l'uno per l'equatore, l'altro per l'eclittica; saranno dunque passati un egual numero di volte per il meridiano del luogo, ma l'uno ad intervalli di tempo sempre eguali, l'altro ad intervalli variabili; e ciò mostra bene che l'intervallo *costante* fra due passaggi del primo è la media degli intervalli *variabili* fra due passaggi del secondo.

(1) In astronomia il vocabolo *equazione* ha un significato diverso che in algebra; significa la quantità che si deve, o aggiungere alla posizione media di un astro, o levare da questa, per avere la posizione vera dell'astro; od anche la quantità da aggiungere alla posizione vera o da levare da essa per avere la posizione media.

Giorni dell'anno	Tempo medio al punto di mezzodì vero	Giorni dell'anno	Tempo medio al punto di mezzodì vero
1 gennajo . . .	0ᵒʳ, 3ᵐ, 58ˢ	1 luglio	0ᵒʳ, 3ᵐ, 27ˢ
11 » . . .	0, 8, 21	11 »	0, 5, 8
21 » . . .	0, 11, 43	21 »	0, 6, 3
1 febbrajo . . .	0, 13, 57	1 agosto	0, 6, 0
11 » . . .	0, 14, 31	11 »	0, 4, 36
21 » . . .	0, 13, 54	21 »	0, 2, 54
1 marzo	0, 12, 34	1 settembre . .	11, 59, 49
11 »	0, 10, 12	11 » . .	11, 56, 30
21 »	0, 7, 19	21 » . .	11, 52, 59
1 aprile	0, 3, 55	1 ottobre	11, 49, 37
11 »	0, 1, 2	11 »	11, 46, 45
21 »	11, 58, 38	21 »	11, 44, 41
1 maggio	11, 56, 56	1 novembre . .	11, 43, 42
11 » . . .	11, 56, 9	11 » . .	11, 44, 12
21 » . . .	11, 56, 18	21 » . .	11, 46, 5
1 giugno	11, 57, 29	1 dicembre . . .	11, 49, 18
11 »	11, 59, 16	11 » . . .	11, 53, 34
21 »	0, 1, 23	21 » . . .	11, 58, 25

L'equazione del tempo diventa nulla, ossia il tempo medio coincide col vero, quattro volte all'anno: al 15 aprile, al 15 giugno, al 31 agosto e al 25 dicembre. Dal 25 dicembre al 15 aprile il tempo medio corre innanzi al tempo vero; dal 15 aprile al 15 giugno il tempo medio resta indietro dal vero; dal 15 giugno al 31 agosto gli corre innanzi di nuovo; e dal 31 agosto al 25 dicembre resta indietro. Le differenze massime fra i due tempi intervengono nel primo di questi periodi all'11 febbrajo, che il tempo medio è innanzi al vero di 14ᵐ, 34ˢ; nel secondo periodo al 14 maggio che il tempo medio resta indietro di 3ᵐ, 54ˢ; nel terzo periodo al 26 luglio che il tempo medio precorre al vero di 6ᵐ, 10ˢ; nel quarto periodo al 2 novembre che il tempo medio resta indietro dal vero 16ᵐ, 18ˢ. Questi dati si mutano lentamente nel volgere degli anni in conseguenza del muoversi il perigeo solare rispetto agli equinozi e del diminuire l'obbliquità dell'eclittica (§ 276).

La tavola suddetta serve a riscontrare e regolare l'andamento di un orologio a tempo medio. La seconda colonna dice l'ora che un orologio a tempo medio deve indicare nell'istante di mezzodì vero, cioè quando il centro del sole passa per il

meridiano del luogo; il quale istante può essere dato da uno stromento astronomico o da un *orologio solare*. È questo orologio una superficie dove sono parecchie linee così condotte che, splendendo il sole, vengono successivamente a ricevere, nei giusti istanti che si compiono le ore diurne del tempo vero, il termine dell'ombra di un medesimo stilo fisso. La superficie dove è segnata la sola linea a cui batte il termine dell'ombra nel mezzodì si dice *meridiana*.

Un orologio meccanico perfetto che si abbia aggiustato una volta a designare il tempo medio, col dare al pendolo regolatore quella lunghezza per cui faccia il numero giusto di oscillazioni nella durata del giorno medio, e col mettere la lancetta delle ore al segno, va poi di continuo indicando le ore di quel tempo, nè accade più di toccarlo. Ma quell'orologio non può, per la perfezione sua medesima, indicare giustamente le ore del tempo vero; queste non sono sempre di uguale durata perchè i giorni veri non sono tutti egualmente lunghi. Coloro che si pigliano la cura di regolare l'orologio sulla meridiana, con la buona intenzione di avviarlo ad essere in durevole armonia col sole, operano vieppiù che indarno. L'orologio che va bene sarà presto in disaccordo con la meridiana. Se vuolsi ch'esso indichi le ore del tempo vero bisogna o variare ad ogni giorno la lunghezza del pendolo per accomodarla alla durata variabile del giorno vero, oppure, tenuta fissa nel pendolo la lunghezza conveniente al giorno medio, movere la lancetta ogni giorno o ad ogni due giorni, per togliere la differenza tra l'ora indicata dall'orologio e l'ora vera. Così l'orologio che va bene anzicchè servire di regola, ha bisogno di essere quotidianamente regolato. Coloro, e se ne trovano anche oggidì, che vantano l'esattezza del proprio orologio, dicendo che non sgarra un punto mai dalla meridiana, fanno sorridere un po'.

La misura di tempo medio cede il vantaggio a quella di tempo vero, solo se trattasi di bipartire a mezzo la giornata, perchè l'ora di mezzodì in essa misura non cade esatto nel punto di mezzo del giorno, cioè ad uguale distanza dal sorgere e dal tramontare del sole, ma cade quando un po' prima, quando un po' dopo. Lo svario però è ben piccolo; non tocca mai a 17 minuti; e quanti vantaggi non lo ricomperano! La misura a tempo medio accoglie la dote d'un buon sistema di misure d'avere a fondamento una unità costante; fa suo pro della esattezza dell'orologio; lo franca dalla assistenza

non sempre diligente dell'uomo; tiene in accordo continuo gli orologi delle diverse città, salve le differenze costanti da città a città dovute alle differenze di longitudine. Quest'ultimo pregio riceve molto rilievo a' dì nostri dalla grande facilità de' viaggi per le strade ferrate e dalla rapida trasmissione dei dispacci per i telegrafi elettrici. Tutte le città che comunicano tra loro per questi modi saranno o presto o tardi condotte ad accettare il beneficio della misura a tempo medio. Siccome lungo una linea di strada ferrata le partenze e gli arrivi dei convogli devono farsi puntualmente in tutte le stazioni giusta l'ordine fisso, così è necessario che gli orologi di tutte le stazioni siano paragonabili tra loro, la qual cosa non si può meglio conseguire che regolandoli tutti a tempo medio. A Parigi gli orologi pubblici sono a tempo medio fino dal 1816; molte città di Francia hanno seguito il buon esempio. E noi?... La domanda si volge in suono di preghiera alle Congregazioni municipali delle nostre città (1).

Vedute le divisioni del giorno, passiamo a dire delle unità composte di più giorni, le quali servono a misurare i lunghi spazi di tempo.

Anno tropico. Anno sidereo. Il periodo delle quattro stagioni, cioè il tempo che passa tra due successivi ritorni del sole allo stesso punto equinoziale si chiama *anno tropico.* Il tempo tra due successivi ritorni del sole ad una medesima stella fissa che sia sull'eclittica si chiama *anno sidereo.* Se i punti equinoziali serbassero sempre la stessa posizione rispetto alle stelle, l'anno tropico ed il sidereo avrebbero durata eguale; ma quei punti si movono in direzione retrograda (§ 274) o contraria al moto del sole nell'eclittica; perciò mentre il sole partitosi da un punto equinoziale fa il giro nell'eclittica, quel punto va un poco indietro sulla medesima via, onde il sole ri-

(1) Arago nota, come un buon effetto di questa riforma, che gli orologi pubblici vengono costruiti con più diligenza, e che, cessato il bisogno di regolarli di continuo alla meridiana, si tengono adesso in miglior accordo tra loro.

Il prefetto della Senna prima di mettere gli orologi di Parigi a tempo medio volle che l'Ufficio delle longitudini facesse un rapporto in sua difesa. Egli temeva che gli operai si levassero a romore contro un mezzodì bugiardo che non è in mezzo esattamente tra il sorgere e il tramontare del sole; ma il popolo non se ne accorse nemmeno. Gli orologiai videro alfine pago il voto che la misura del tempo avesse regola comune fissa, e non udirono più il lagno del compratore ignorante; che l'orologio non andava d'accordo col sole. Essi rispondevano bene che la colpa è del sole e non dell'orologio, ma la risposta pareva una celia ad alcuni, ad altri un'empietà.

tornando lo trova poi un poco prima dell'istante che lo troverebbe se il punto non si fosse mosso. Ne viene che l'anno tropico è più breve del sidereo, e la differenza è uguale al tempo che il sole impiega a fare il cammino fatto dal punto equinoziale in un anno; è circa 20, 5 minuti. Ma la retrogradazione annua dei punti equinoziali e il tempo che le corrisponde nel moto del sole non sono eguali di anno in anno, però anche i successivi anni tropici non sono di eguale durata. A togliere questa differenza si immagina la retrogradazione di un gran numero di anni tropici egualmente distribuita su tutti gli anni medesimi, e si forma così un anno tropico medio. La lunghezza sua risulta di 365, 242264 giorni medii solari. La lunghezza dell'anno sidereo è di 365, 2563835 di questi giorni.

Anno civile. Mesi. Calendario. Sue riforme. Il tempo di un fatto (*data*) si indica col dire l'anno in cui il fatto avvenne; e l'anno si designa col numero che gli tocca in una serie di anni successivi (*era*), che prende capo da qualche *epoca* notevole: se vuolsi precisione particolare si aggiunge il giorno dell'anno e l'ora del giorno. In questa maniera di indicare le date è bene che gli anni siano composti di un numero intero di giorni, perchè non accada che uno stesso giorno appartenga nel suo principio ad un anno e nel fine all'anno seguente. A tal'uopo non può servire nè l'anno tropico nè il sidereo, chè constano e l'uno e l'altro di 365 giorni, più una frazione di giorno. Fu convenuto perciò di assumere quale unità un anno di un numero intero di giorni, che dicesi *anno civile*, e si va, pur nella vita, distinguendo il corso del tempo per anni civili. L'anno civile si divide in 12 *mesi*, ciascuno dei quali contiene un numero intero di giorni.

Si vede subito come importi di mettere l'anno civile in accordo con l'anno tropico, affinchè le stagioni che tanto influiscono nell'ordinamento delle faccende umane abbiano a ricadere sempre allo stesso luogo ne' diversi anni successivi. Per conseguire tale accordo bisogna fare che in uno spazio di tempo comunque grande vi siano esattamente tanti anni civili quanti anni tropici. Ora a ciò non si arriva se gli anni civili si compongono tutti di un egual numero di giorni; è mestieri comporli di un numero disuguale di giorni, e farli succedere l'uno all'altro per modo che il loro valore medio in un lungo spazio di tempo torni eguale precisamente alla durata dell'anno tropico.

Alcuni popoli antichi componevano ciascun anno civile di 365 giorni; ne seguitava che le stagioni col volgere dei secoli ri-

correvano in luoghi alquanto diversi dell'anno; diffatti con quella misura si ha un avanzo di 0,242264 di giorno ad ogni anno, e in capo a soli 100 anni ogni punto di stagione viene ad essere 24 giorni innanzi al tempo che era nel primo anno. Si sapeva bene che ciò procedeva dall'aver dato all'anno una lunghezza minore del giusto: i sacerdoti d'Egitto dissero a Platone che l'anno, a valutarlo esatto, doveva essere di $1/4$ di giorno di più.

I Romani prima di Giulio Cesare avevano tentato di mettere in accordo l'anno civile con la ricorrenza delle stagioni. L'anno istituito a Roma da Numa contava 355 giorni, ed era distinto in 12 mesi. I giorni del mese non erano designati per numeri progressivi, come si usa adesso, ma si diceva *calende* il primo giorno di ogni mese, *none* il quinto giorno dei mesi di gennajo, febbrajo, aprile, giugno, agosto, settembre, novembre, dicembre, e il settimo giorno degli altri mesi, *idi* il tredicesimo giorno dei mesi prenominati, e il quattordicesimo degli altri. I giorni intermedii si designavano dal numero di giorni ond'essi precedevano il più prossimo dei tre suddetti. Da calende trasse il nome il *calendario*, tavola su cui i pontefici scrivevano le feste di ciascun giorno e i giorni ben o mal augurati, feriati, solenni. Il nome si applicò poi ad ogni sistematica partizione del tempo accomodata agli usi della vita. Per condurre di quando in quando il principio d'ogni stagione ad una medesima data si intercalava fra i giorni 23 e 24 di febbrajo un nuovo mese; questo sulle prime facevasi di 22 giorni, poi si diede ai pontefici la cura di farlo più o men lungo come tornasse meglio all'intento. Ma i pontefici, abusando, guastarono il calendario da non potersi più tollerarlo.

Giulio Cesare tolse lo sconcio, valendosi di Sosigene, astronomo di Alessandria. A rimettere le stagioni dentro i mesi ove sono attualmente gli convenne allungare di 90 giorni un anno, e fu il 45 innanzi l'era nostra il quale si disse perciò *anno di confusione*. Per mantenere le stagioni a luogo stabilì che a cominciare dal 44 innanzi G. C. l'anno civile avesse la durata media di giorni 365, 25; ma per seguire l'uso comodo di valutare gli anni in numeri interi di giorni, ordinò che in ogni periodo di quattro anni consecutivi i primi tre fossero ciascuno di 365 giorni e il quarto di 366; fece quel ripartimento dei giorni fra i 12 mesi che dura tuttavia; statuì che il giorno complementare, aggiunto ad ogni quarto anno, fosse intercalato tra il 23 e il 24 di febbrajo, e per non mutar nulla nel nome

degli altri giorni di questo mese, diede al giorno intercalato il nome stesso del 24 febbrajo, cioè *sexto-calendas*, preponendovi a distinzione la parola *bis*. Da *bis-sexto-calendas* l'appellativo di *bisestile* a ciascun anno composto di 366 giorni. Questa è la *riforma giuliana*: il calendario redatto con la sua norma si chiamò *calendario giuliano*.

Il modo che furono ripartiti tra i 12 mesi i 365 giorni dell'anno comune si vede nella tavola seguente.

Nomi dei mesi	Numeri dei giorni	Nomi dei mesi	Numeri dei giorni	Nomi dei mesi	Numeri dei giorni
Gennajo . .	31	Maggio . . .	31	Settembre .	30
Febbrajo . .	28	Giugno . . .	30	Ottobre . .	31
Marzo . . .	31	Luglio . . .	31	Novembre . .	30
Aprile . . .	30	Agosto . . .	31	Dicembre .	31

Nell'anno bisestile il mese di febbrajo conta 29 giorni.

La riforma giuliana non è esatta: la durata media di 365, 25 giorni data all'anno passa di 0, 007736 di giorno, o di 11^m, 8^s, la giusta misura, onde in mille anni si rimane indietro di più che 7 giorni dal vero. Così coll'andare del tempo il principio delle stagioni cade pur ancora in luoghi diversi dell'anno.

Il concilio di Nicea, tenutosi l'anno 255 dell'era nostra, pose una regola per fissare il giorno di pasqua in ogni anno, la quale regola si fondava nella credenza che l'equinozio di primavera avesse a cadere tutti gli anni nel 21 marzo, come era avvenuto nell'anno stesso del concilio. Così sarebbe seguito di fatto se la durata media assegnata all'anno civile dal calendario giuliano fosse stata per appunto eguale all'anno tropico; ma per la differenza che dissi, nell'anno 1852 l'anticipazione dell'equinozio era già salita a giorni 10, perchè l'equinozio aveva luogo realmente nel dì 11 marzo. Se fosse andato avanti il disordine, a capo d'altri 1405 anni, il principio di primavera sarebbe entrato in febbrajo. Di ciò menavano rumore uomini di gran vaglia, Ticone, Scaligero, Chambers, Calvisio, sicchè in fine Gregorio XIV, nel 1582, seguendo le norme già suggerite da Luigi Lelio medico calabrese, tolse l'errore, ed introdusse un'altra riforma per impedire che si rinnovasse. Furono sottratti e messi

in nulla i dieci giorni che dovevano correre dopo il 4 fino al 15 ottobre 1852, di modo che il 5 fu detto 15, e si ordinò di ridurre ad anni comuni tre bisestili in ogni quattro secoli, e propriamente i tre anni che chiudono tre secoli consecutivi, lasciando bisestile solo quello che chiude il quarto, i quali anni ultimi di secolo (*anni secolari*) nel calendario giuliano erano bisestili tutti. Così il 1600 fu bisestile, il 1700 il 1800 furono anni comuni, e tale sarà il 1900; il 2000 sarà bisestile. Il calendario con questa nuova riforma si dice *gregoriano*. I protestanti lo adottarono solo verso il 1700, gl'Inglesi nel 1752; i Russi non ancora, ond'essi nel contare i giorni col calendario giuliano sono già 12 giorni indietro da noi. Il giorno che in Russia si dice 5 marzo 1855 è da noi il 17 marzo, il 25 marzo di Russia è il nostro 6 aprile. Per evitare equivoci, quando si scrive una data del calendario giuliano, suolsi notare sotto di essa la data corrispondente del calendario gregoriano; nei due esempi addotti si scrive: $\frac{5}{17}$ marzo 1855; $\frac{25 \text{ marzo}}{6 \text{ aprile}}$ 1855. Qualche volta si contrassegnano le date giuliane col mettervi di seguito la nota: (*vecchio stile*); si scrive, p. e. 5 marzo (*vecchio stile*), ed è il 17 marzo del calendario gregoriano.

Il calendario vigente assume dunque per durata dell'anno giorni $365,25 - \frac{3}{400} = 365,25 - 0,0075 = 365,2425$. Si vede che è una durata ancora un po'più lunga di quella dell'anno tropico e propriamente di 0, 000236 di giorno; la data dell'equinozio di primavera va dunque anticipando ancora nel succedersi degli anni, ma l'anticipazione non arriva a un giorno se non in capo a 4000 anni, e allora basterà omettere un giorno intercalare per ristabilire l'ordine.

La divisione dell'anno per mesi ebbe origine dal ritorno periodico delle fasi lunari. Si dice *mese sinodico* una lunazione, cioè il tempo che passa fra due noviluni consecutivi, *mese periodico* il tempo che la luna consuma a fare un giro nell'orbita sua. Questo è un po'men lungo del primo, percioechè la luna quando passa da un novilunio all'altro non ritrova già il sole dove lo aveva lasciato, ma lo ritrova un po'più innanzi verso oriente, e per raggiungerlo deve seguitare il suo moto un po'di tempo ancora dopo compiuto un giro. Il mese sinodico è variabile di lunghezza a cagione delle inegualianze dei moti della luna e del sole; il suo valore medio è di circa 29 giorni e mezzo. Il mese lunare non è dunque un numero intero di giorni, ma nella più remota antichità, fatto il mese di

30 giorni, passava forse inavvertita la differenza, e intanto prendeva luogo nelle abitudini questa comoda misura del tempo (1).

Il numero ineguale ed irregolare dei giorni che trovansi ora assegnati ai diversi mesi non ha ragione astronomica. Il sistema proposto già parecchi anni da Carouge mette in buona relazione coi fatti astronomici il principio dell'anno e il ripartimento dei giorni fra i mesi. Eccolo: cominci l'anno al solstizio d'inverno; nell'anno bisestile ciascuno dei tre primi mesi e dei tre ultimi abbia 30 giorni, ciascuno degli altri sei mesi abbia 31 giorni; negli anni comuni il primo mese abbia invece soli 29 giorni. Così, collocati i mesi più lunghi in quella metà dell'anno in cui il moto del sole è più lento, il principio d'ogni mese verrebbe a corrispondere sempre all'ingresso del sole nei rispettivi segni del zodiaco, ed ogni stagione sarebbe composta di tre giusti mesi interi.

Anno lunare. Ciclo lunare. Numero d'oro. Epatta. Dodici lunazioni costituiscono l'*anno lunare* che risulta minore dell'anno civile comune per 11 giorni. Quindi è che le medesime fasi della luna non ricorrono sempre negli stessi giorni dell'anno. Si dice *età della luna* in un certo tempo il numero di giorni, ore, minuti che passarono dall'ultima luna nuova fino a quel tempo. È utile di saper trovare l'età della luna come quella che indica quale sia la fase corrispondente. Se in un anno il novilunio è al primo di gennajo, nell'anno seguente la luna conta in quel giorno l'undecimo dell'età sua, nell'anno terzo vi conta il ventesimo secondo, nel quarto sarebbero passati 33 giorni da un novilunio (o 34 se l'anno è bisestile), ma si direbbe che la luna è al terzo giorno (o al quarto) dell'età sua, diffalcando dai 33 (o dai 34) giorni i 30 che spettano alla lunazione antecedente.

Le età della luna al principio dei diversi anni variano da un anno all'altro, ma ritornano press'a poco nell'ordine stesso dopo un periodo di 19 anni. Tale periodo, avvertito da Me-

(1) Il mese di Gennajo (*Januarius*) ebbe tal nome dai Latini in onore di Giano: il Febbrajo era sacro a Februo, dio dei morti; Marzo a Marte, e fu il primo dei mesi istituiti da Romolo. Aprile si crede abbia il nome da un appellativo greco di Venere, alla quale fu dedicato da Romolo. Maggio da Maja madre di Mercurio. Giugno da Giunone. Luglio (*Julius*) fu così detto dai Latini in onore di Giulio Cesare, nato in tal mese. Il senato Romano, adulando all'imperatore Augusto, chiamò *Augustus* (Agosto) il mese che vien dopo. Romolo aveva fatto l'anno di soli 10 mesi, e vi presero nome, dal numero ordinale che vi tenevano, i mesi di Settembre, Ottobre, Novembre, Dicembre. Fu Numa che aggiunse altri due mesi ai 10 di Romolo.

tone ateniese 433 anni avanti Cristo, si chiama *ciclo lunare* o *ciclo di Metone*. Gli Ateniesi che non avevano un metodo per mettere in accordo i loro anni lunari di 354 giorni con gli anni tropici, e non volevano rinunciare all'uso comodo di misurare il tempo per lunazioni, adottarono con plauso il ciclo di Metone come perfezionamento del loro calendario; ne affissero il computo in numeri d'oro sulla pubblica piazza e ne mandarono a Roma la rappresentazione sopra una lastra d'argento in numeri d'oro; di qui il nome di *numero d'oro* a quello che indica il posto occupato da ogni singolo anno nel ciclo lunare. Nel nostro calendario i numeri d'oro procedono come se il primo anno dell'Era cristiana fosse stato il secondo di un ciclo lunare o avesse avuto il 2 per numero d'oro. Ne segue un modo facile di trovare il numero d'oro di un anno qualunque dell'Era nostra: si aggiunga un'unità al numero che denomina l'anno; si divida la somma per 19; il quoto è il numero delle volte che il ciclo lunare venne a ripetersi dall'anno anteriore all'Era nostra fino all'anno proposto; il residuo è il numero d'oro che si cerca. Se la divisione non dà residuo è segno che l'anno proposto ha per numero d'oro il 19. Il primo anno di ciclo lunare è distinto dagli altri per la particolarità che il novilunio vi cade il primo giorno di gennajo. Il numero d'oro dell'anno 1855 è 13; vale a dire quest'anno è il tredicesimo del ciclo lunare a cui appartiene.

Si chiama *epatta* dell'anno l'età della luna al momento che l'anno principia; serve a trovare facilmente l'età della luna in un giorno qualunque dell'anno. Il nome suona in greco *aggiunta* (ἐπάγω aggiungere), perchè dice quanto si abbia ad aggiungere ai primi giorni dell'anno per avere l'età della luna in essi. Gli Astronomi notano l'epatta con esattezza in giorni, ore, minuti, e secondi: si usa notarla anche nei nostri almanacchi, ma solo in giorni, omettendo le frazioni, cosicchè, a parlare propriamente, questa epatta degli almanacchi è il numero dei giorni di età che la luna ha raggiunto nel 31 dicembre dell'anno anteriore.

Settimana. Antichissima è la partizione del tempo a settimane. La settimana non ha veruna relazione semplice nè con l'anno nè col mese; è un periodo di sette giorni che si succede invariato attraverso i mesi, gli anni, i secoli, quali che siano le lunghezze attribuite a questi maggiori periodi. Ciascun giorno della settimana porta un nome suo, perciò un giorno qualunque, non solo ha una data diversa da quella degli altri

giorni, ma prende anche un nome particolare che indica il luogo di esso giorno nella settimana a cui appartiene.

I nomi dei giorni della settimana pare abbiano questa origine. Gli Antichi credevano che vi fossero 7 pianeti, fra cui il sole e la luna, e li notavano con l'ordine seguente, giusta le durate delle loro conversioni e le distanze decrescenti che supponevano avessero dalla terra: Saturno, Giove, Marte, Sole, Venere, Mercurio, Luna. Un uso antico d'Egitto portava che ciascuna delle 24 ore del giorno fosse sacra ad un pianeta: la prima ora del sabbato erasi consacrata a Saturno, la seconda a Giove, e le altre ai pianeti successivi nell'ordine suddetto, poi la ottava da capo a Saturno, e così ripetendo fino alla 24.ª che cadeva sacra a Marte; onde, a continuare, la prima del giorno seguente era sacra al Sole e poi la prima dell'altro giorno alla Luna e via via. Dal nome del pianeta a cui era sacra la prima ora del giorno s'intitolò il giorno stesso, e si ebbero le denominazioni dei giorni le quali durano tuttavia, col solo cangiamento in Domenica del giorno ch'era intitolato del sole.

Ciclo solare. Un anno comune di 365 giorni contiene 52 settimane e 1 giorno; quindi è che da un anno all'altro i giorni della medesima data non hanno lo stesso nome nella settimana a cui appartengono. Così, poichè il 1.º gennajo 1854 è stato una domenica, il 1.º gennajo del 1855 è un lunedì, e il 1.º gennajo del 1856 sarà un martedì. Se tutti gli anni fossero di 365 giorni, succederebbe che a capo di 7 anni i giorni di egual data verrebbero ciascuno a ricadere nella settimana al medesimo posto che avevano il primo anno. Gli anni bisestili anticipano questa coincidenza, la quale si rinnova dopo 6 anni o dopo 5, secondo che in tale periodo ci entra un anno bisestile o due anni bisestili. Ma se prendesi un periodo di 28 anni, il quale nel calendario Giuliano contiene sempre 7 anni bisestili, e però nella sua totalità si compone di un numero esatto di settimane, è certo che, consumato questo periodo, nel seguente periodo uguale i diversi giorni delle settimane successive ricorreranno tutti alle date medesime che nei primi 28 anni. Tale periodo di 28 anni, si chiama *ciclo solare.* Si usa ripartire la serie degli anni in cicli solari successivi e designare ciascun anno col numero del posto ch'esso occupa nel ciclo. Così negli almanacchi per l'anno 1855 si trova scritto: ciclo solare 16, e vuol dire che l'anno 1855 è il sedicesimo del ciclo solare a cui appartiene. L'uso di questo ciclo riceve un piccolo cangia-

mento nel calendario Gregoriano ogni volta che interviene un anno secolare non bisestile (1).

Indizioni romane. Il ciclo delle *indizioni romane* è un periodo di 15 anni, introdotto dopo Costantino, si crede per l'esazione di una tassa; non ha relazione con nessun fenomeno astronomico. Gli anni prendono anche in questo ciclo il numero d'ordine del posto che vengono ad occuparvi; le indizioni procedono come se fossero cominciate tre anni avanti l'Era volgare. L'anno 1855 è il 13 di una indizione.

Periodo giuliano. I tre numeri 19, 28, 15, durate dei tre cicli lunare, solare e delle indizioni romane, sono primi tra loro due a due. Ne viene che il periodo di anni espresso dal

(1) *Lettera dominicale.* I primi Cristiani, per formare un calendario perpetuo che indicasse quali giorni dell'anno fossero domenica, quali lunedi, quali martedì, ecc., segnarono per ordine con le prime sette lettere dell'alfabeto i primi sette giorni dell'anno; con la lettera A il primo di gennajo, con la B il secondo... con la G il settimo, e poi da capo con la A l'ottavo, e va discorrendo fino all'ultimo giorno dell'anno. Accade così che una qualunque delle sette lettere ha in tutto il corso dell'anno quella medesima posizione rispetto alle altre che ha un dato giorno della settimana rispetto agli altri giorni, e però tutti i giorni contrassegnati della stessa lettera sono di egual nome nelle diverse settimane. Se il primo di gennajo che porta la lettera A è domenica (come nel 1854), sono domenica anche tutti gli altri giorni che portano la lettera A, e per conseguenza sono lunedì tutti quelli che portano la lettera B, ecc... Se invece il primo di gennajo è lunedi (come nel 1855), la A trovasi apposta ai lunedì di tutto l'anno, la B a tutti i martedi;... la G a tutte le domeniche. Dicesi *lettera dominicale* di un dato anno quella che pel corso dell'anno segna le domeniche; suolsi indicarla anche in capo ai nostri almanacchi, e serve a trovar subito che nome hanno in la settimana i giorni a diversa data di un mese qualunque.

Essendo l'anno composto di 52 settimane e 1 giorno, se un certo anno comincia in domenica, termina pure in domenica, e il sussegnente comincia in lunedì, onde le lettere si avanzano di un passo ogni anno sui giorni della settimana, cioè se in un certo anno l'A denota la domenica, nel successivo denota il lunedi, e allora la domenica è segnata G. Così tornerebbe di continuo se gli anni fossero tutti comuni senza bisestili; ma l'ordine viene alterato ogni quarto anno per il giorno che si intercala, il quale fa che se l'anno principia, per esempio, in domenica, termina in lunedi e quindi la lettera dominicale dell'anno successivo non è la G ma è la F. Questo sarebbe tutto l'effetto del giorno intercalato sulle lettere dominicali se il giorno venisse intercalato tra l'ultimo di dicembre e il primo di gennajo, ma viene tra il 23 e il 24 di febbrajo. Nel calendario perpetuo esso giorno non ha nè numero, nè nome che lo indichi, nè lettera che lo preceda, e nel modo stesso che alla latina assumeva il nome del successivo giorno 24, ne prende ora la lettera; ne segue che, ripetendosi due volte in tale incontro la medesima lettera, da quel giorno in poi le lettere del calendario perpetuo si avanzano di un passo sui giorni della settimana, e la lettera che indicava prima il sabbato viene a diventare la lettera dominicale. Ecco perchè si pone una lettera sola dominicale per gli anni comuni, e se ne pongono due per i bisestili, l'una che serve dal primo gennajo fino al giorno intercalato inclusivamente, e l'altra dal giorno che segue fino all'ultimo di dicembre.

numero che è il prodotto di questi tre ($19 \times 28 \times 15 = 7980$), o il periodo di 7980 anni, non contiene due anni che abbiano insieme il medesimo numero d'oro, il medesimo numero di ciclo solare, e il medesimo numero nelle indizioni romane; e così per tutto il volgere di tale periodo la notizia dei tre numeri che prende un anno qualunque nei tre cicli suddetti vale a distinguere quell'anno da tutti gli altri. Questa osservazione indusse Giuseppe Scaligero nel XVI secolo a formare un grande ciclo di 7980 anni, sul quale potesse la cronologia riportare come su base comune tutte le altre ere. Il grande periodo fu detto *periodo giuliano*. Gli fu assegnato a primo anno quello che porta il numero 1 in ciascuno dei tre cicli componenti, il quale si trovò essere l'anno 4713 innanzi Cristo: il primo periodo giuliano si compirà dunque nel 3267 dell'Era volgare. Il nostro 1855 è il 6568 di questo periodo. Essendosi scelto a primo anno del periodo quello che porta il numero 1 in ciascuno dei tre cicli, è chiaro che dividendo il numero 6568 per 19 o per 28, o per 15, si ha per residuo il numero d'oro, o il numero di ciclo solare, o il numero d'indizione romana che competono all'anno 1855, che sono 13, 16, 13.

304. *Pianeti.* Quegli astri visibili di continuo, i quali hanno un movimento loro proprio che li muta di luogo rispetto alle stelle fisse diconsi *pianeti* (§ 251). Gli Antichi contavano sette pianeti, comprendendo anche il sole e la luna; agli altri cinque, imposero i nomi conservati ancora di Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno.

Questi cinque pianeti non si scostano molto nei loro moti dall'eclittica, non escono mai dalla zona di cielo che si chiama zodiaco (§ 277), ma serbandosi pure nel zodiaco mutano di posizione rispetto al sole e talvolta si avvicinano ad esso, talvolta se ne allontanano, ora dalla parte di oriente ora dalla parte di occidente. In ciò è notevole una differenza. Gli uni si allontanano dal sole e da una parte e dall'altra fino a certi limiti, poi tornano indietro avvicinandosi ad esso; gli altri se ne allontanano a tutto giro, e passano di quando in quando per i luoghi diametralmente opposti al luogo del sole. Tra i cinque noti agli Antichi Mercurio e Venere si movono alla prima maniera, Marte, Giove e Saturno alla seconda.

Venere. Il bel pianeta Venere si vede in alcuni tempi la sera sull'occidente dopo il tramonto del sole; il moto diurno della sfera celeste lo porta sotto l'orizzonte; nei dì seguenti si vede ancora in quelle regioni ma un po' più rimoto dal sole, onde

si cela un po' più tardi; giunto ad una certa distanza dal sole, torna indietro e va accostandosi al gran luminare; dopo alcuni giorni tramonta insieme con lui, e allora non è dato vederlo; in seguito si osserva di nuovo, ma di mattino, che precede ad est il sorgere del sole, e lo precede poi d'un tratto più e più grande finchè, toccato un certo limite, si ravvicina di nuovo al sole, e lo raggiunge e lo passa. Il pianeta dunque oscilla dalla parte di est (A, fig. 205) del sole (S) alla parte di ovest

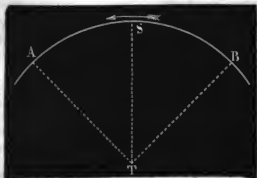



Fig. 205.

(B) e inversamente. La sua velocità diminuisce mentre si allontana dal sole, cresce mentre si avvicina. Le massime elongazioni orientali (STA) e occidentali (STB) di Venere non toccano sempre allo stesso grado ma rimangono comprese tra 45° e 47° 3/4 circa. La durata di una oscillazione completa di Venere, cioè il tempo tra due successivi ritorni del pianeta ad uno stesso limite (A) della oscillazione, è in misura media di 584 giorni. Il pianeta, intanto che si move così, accompagna il sole nel suo giro per l'eclittica, quasi che il sole (S) porti seco l'arco (AB) in cui il pianeta oscilla. Quest'arco non è precisamente parallelo all'eclittica, ma un po' inclinato ad essa e la attraversa. Ne segue che il pianeta ha nella sfera celeste un moto composto irregolare in cui passa da una parte all'altra dell'eclittica. La sua velocità nella sfera celeste è in generale da ovest ad est (moto diretto), ora più ora men grande, ma a volte muta segno e si converte da est ad ovest (moto retrogrado), ciò avviene quando il pianeta corre le parti medie dell'arco proprio (AB) da est ad ovest; questo moto retrogrado dura circa 42 giorni. Si dicono *stazioni* del pianeta i luoghi e i

tempi in cui la direzione del suo moto si cangia e il moto da diretto si fa retrogrado e viceversa.

Galileo ha osservato pel primo che il pianeta Venere nelle sue diverse posizioni rispetto al sole ha fasi come la luna; Venere è dunque un globo non luminoso ma oscuro, che viene illuminato dal sole. Il periodo delle fasi dimostrò a Galileo che Venere percorre una circonferenza nel cui mezzo è il sole, perchè le fasi, per chi sta sulla terra (T, fig. 206) ad osser-

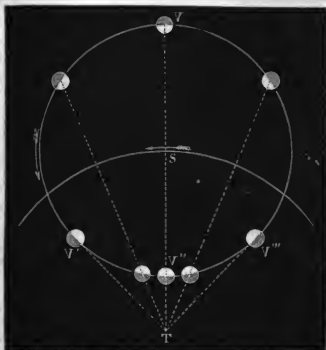



Fig. 206.

varle, tornano proprio quali convengono al moto in una circonferenza (VV'V''V''') intorno al sole (S). E mentre il pianeta passa da una fase all'altra, il suo diametro apparente muta di grandezza come deve al variare di sua distanza dalla terra. Le mutazioni di grandezza sono sensibilissime: la figura 207 le rappresenta in giusta proporzione (1).

(1) Quando il pianeta è in V (fig. 206) alla massima distanza dalla terra, la sua grandezza apparente è la prima della figura 207; quando è tra V e

Fig. 207.

Mercurio. Il moto di Mercurio è simile a quello di Venere ma un po' meno regolare. Anche Mercurio si vede ora ad occidente, un po' dopo il tramonto del sole, ora a levante un po' prima del sole; anch'esso oscilla da una parte e dall'altra del luminare, tenendosi pur sempre vicinissimo all'eclittica. Le digressioni massime dal sole ad oriente e ad occidente non tornano sempre eguali; variano tra $16^\circ\,{}^1/_4$ e $28^\circ\,{}^3/_4$. La durata d'una oscillazione intera, cioè il tempo che il pianeta consuma a passare dalla massima elongazione orientale alla massima elongazione occidentale e quindi a ritornare alla prima, è variabile tra 106 e 130 giorni. La linea in cui oscilla Mercurio, accompagna il sole per l'eclittica, e così Mercurio fa, come Venere, in circa un anno il giro del cielo passando per tutte le costellazioni del zodiaco, e va ora veloce ora lento, e d'ordinario di moto diretto, ma per alcuni giorni (numero medio 23 giorni) di moto retrogrado.

Le fasi di Mercurio dimostrano che, al pari di Venere, esso gira intorno al sole e ne è illuminato. Le apparenze del moto sono come se percorra un cerchio il cui centro non sia proprio nel sole ma ne sia alquanto discosto, e lo percorra con velocità variabile.

Marte. Giove. Saturno. I tre pianeti Marte Giove e Saturno prendono tutte le posizioni nella eclittica rispetto al sole e alla terra, passando per i luoghi dov'è il sole, nel qual caso dicesi che sono *alla congiunzione* col sole, e passando anche per i luoghi diametralmente opposti, nel qual caso dicesi che sono *alla opposizione* del sole. Quando però si considera il moto

V' è la seconda; in V' è la terza; tra V' è V'' la quarta; in V'' la quinta: allora il pianeta non è visibile perchè ci volge l'emisfero non illuminato, ma talvolta si vede la sua projezione sul disco lucido del sole, e pare un circolo nero, grande come quello a punti nella figura.

di essi rispetto alle stelle si riconosce che è simile al moto dei primi due pianeti. Infatti ciascuno si move secondo il gran cerchio dell'eclittica, scostandosene solo di poco, ora da una parte ora dall'altra, e il senso del moto è diretto, salvo in qualche tempo che è retrogrado. Ciascuno quando è alla congiunzione, tocca al punto di mezzo dell'arco ch'esso percorre di moto diretto, e quando è alla opposizione tocca al punto di mezzo dell'arco che percorre di moto retrogrado.

Marte va di moto diretto per circa 707 giorni, e di moto retrogrado per circa 73 giorni, onde un periodo completo de'suoi moti è di circa 780 giorni, o 2 anni e 50 giorni; ma il tempo in cui compie tutto il giro del cielo è in numero medio di 687 giorni.

Giove ha moto diretto per 278 giorni, retrogrado per 121, e fa il giro del ciclo in circa 4333 giorni, o 12 anni.

Saturno ha moto diretto per 239 giorni, retrogrado per 139; fa il giro del cielo in 10759 giorni o in circa 29 anni e mezzo.

Urano. Nettuno. Noi conosciamo due altri grandi pianeti denominati Urano e Nettuno: Urano è visibile ad occhio nudo non così Nettuno; i loro moti sono simili a quelli dei tre suddetti.

Asteroidi. In questo secolo si scopersero pure 33 piccoli pianeti invisibili ad occhio nudo, che diconsi asteroidi, o pianetini telescopici; ne parleremo tra poco.

305. *Grandezze comparate del sole, della terra, della luna e dei pianeti principali. Distanze fra loro.* La parallasse vale a computare la distanza dei diversi pianeti dalla terra (§ 259), e conseguentemente dal sole. Con la misura poi del diametro dei pianeti, quale apparisce a quella distanza, si valuta la loro grandezza.

Giova formarsi una immagine delle grandezze comparate del sole, della terra, della luna e dei diversi pianeti, ed anche delle distanze tra il sole e la terra, tra la terra e la luna, e tra il sole e i pianeti.

Nella figura 208 il gran cerchio rappresenta il sole, il piccolo cerchio che è sotto rappresenta la terra: il diametro del sole è 112 volte quel della terra (§ 261). A rappresentare la distanza del sole dalla terra in giusta proporzione con le grandezze qui figurate, si deve mettere fra i centri dei due cerchi l'intervallo di metri 16,5.

Per vedere le grandezze relative della terra e dalla luna, bi-

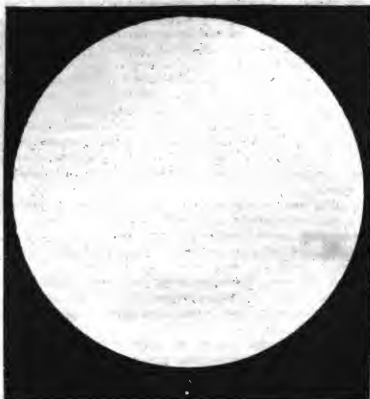



Fig. 208.

sogna ingrandire l'immagine della terra. Nella figura 209 il maggiore dei cerchi è la terra, il minore la luna: il diametro della luna è 0,273 del terrestre (§ 261). La distanza media della luna dalla terra sarebbe qui rappresentata da un intervallo di $0,^{m}$ 641 da centro a centro. Con questa scala il sole sarebbe un cerchio di raggio 1^{m}, 204, e il suo centro sarebbe lontano dal centro della terra a 258 metri.

Fig. 209.

Il diametro apparente di Mercurio è diverso ne'diversi tempi, Quando il pianeta è distante dalla terra come la terra dal sole,

il suo diametro apparente è di 6″, 7; se ne deduce che il raggio del globo di Mercurio è 0, 391 di quel della terra.

Venere quando è distante dalla terra come la terra dal sole ha il diametro apparente di 16″, 9, però il raggio di Venere è 0,985 del terrestre.

Il raggio del globo di Marte è 0, 519 del raggio terrestre. Il raggio di Giove ascende a 11, 225 raggi terrestri; quello di Saturno a 9,022, di Urano a 4,34, di Nettuno a 4,72.

Saturno è cinto di un largo anello circolare appianato che non tocca il globo del pianeta in nessun punto, ma si tiene librato a distanza da esso per tutto il giro. Huyghens fu il primo che pubblicò questa conformazione dell'appendice di Saturno. Galileo già innanzi aveva notato la novità che Saturno pare accompagnato da due stelluzze ai fianchi; in una delle carte che lasciò si trova disegnata a penna una figura che è evidentemente quella dell'anello di Saturno (1).

Le distanze medie dei pianeti dal sole sono le seguenti, presa per unità la distanza della terra dal sole: Mercurio 0,38710, Venere 0,72333, Marte 1,52369, Giove 5,20277, Saturno 9, 53885, Urano 19, 1824, Nettuno 30, 04.

Ecco nella figura 210 le immagini della terra, della luna e dei pianeti in proporzione. Con la stessa misura il sole sarebbe rappresentato da un cerchio del raggio di 15 centimetri; e le distanze dei pianeti dal sole sarebbero rappresentate con intervalli di 12^{m}, 4 per Mercurio, 23^{m}, 1 per Venere, 32^{m} per la Terra, 48^{m}, 8 per Marte, 166^{m}, 6 per Giove, 305^{m}, 2 per Saturno, 613^{m}, 8 per Urano, e 961^{m}, 3 per Nettuno.

306. *Rotazione dei pianeti intorno a un loro diametro.* Le osservazioni delle particolarità che si distinguono sulla superficie di Mercurio, di Venere, di Marte, di Giove e di Saturno dimostrano che questi pianeti si rigirano in sè stessi. Vi sono indizi che faccia così anche Urano. I tempi in cui si spediscono codeste rotazioni sono di 24^{or}, 4^{m} per Mercurio, 23^{or}, 4^{m} per Venere, 24^{or}, 39^{m} per Marte, 9^{or}, 55^{m} per Giove, 10^{or}, 16^{m} per Saturno.

307. *Satelliti dei pianeti.* Galileo osservò che il pianeta Giove è sempre accompagnato da quattro punti lucidi che girano intorno ad esso, con moto piuttosto celere, da occidente ad oriente, in circoli diversi i cui piani divergono pochissimo dal gran piano dell'eclittica. Questi punti sono piccoli corpi illuminati

(1) *Opere di Galileo.* Edizione dell'Albèri. T. V, Parte I, pag. 35.

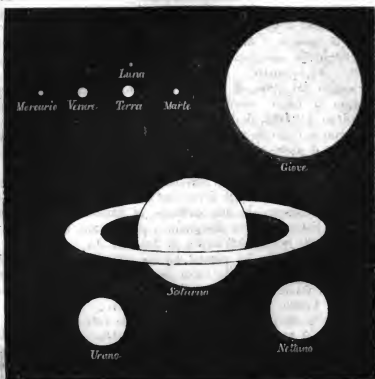



Fig. 210.

dal sole; si chiamano *satelliti di Giove* e si distinguono tra loro con numeri ordinali dal più prossimo a Giove al più lontano. Le loro distanze medie dal pianeta, preso per unità il raggio di questo, e le durate dei loro giri sono come segue:

Satelliti	Distanze medie dal pianeta	Durate delle rivoluzioni intorno al pianeta
1.° satellite	6,05	1 gior ,77
2.° »	9,62	3, 55
3.° »	15,35	7, 15
4.° »	27,00	16, 69

Giove, come corpo oscuro ed opaco, dà un cono d'ombra dalla parte opposta al sole, il quale cono, per essere Giove

più grande che la Terra e a maggiore distanza dal sole, è assai più largo e più lungo che quel della Terra. I satelliti, quando nei loro giri incorrono nel cono d'ombra, si eclissano come la nostra luna; i tre primi patiscono l'eclisse ad ogni giro, il quarto ne va talvolta esente. Quando passano dalla parte del sole mandano essi l'ombra loro sul corpo di Giove a farvi degli eclissi di sole.

Il lume dei satelliti mostra certe variazioni d'intensità che son periodiche, e si rinnovano giusto in tempi uguali alle durate delle rispettive rivoluzioni intorno al pianeta. Herschel notò che si spiegano bene le variazioni col supporre che i satelliti girino in sè stessi in guisa da tenere sempre la medesima faccia rivolta a Giove, come la luna fa con la terra (§ 298); essi devono così offrire a noi successivamente le diverse parti della propria superficie, onde basta ammettere che codeste parti non riflettano tutte egualmente la luce del sole perchè ne debbano seguire le variazioni periodiche suddette.

I satelliti di Giove hanno i diametri apparenti così piccoli che non si riesce a misurarli, però non si conosce la loro grandezza assoluta; si vede bensì che il terzo satellite è maggiore degli altri, poi vengono il quarto, il primo, il secondo.

Satelliti di Saturno. Oltre l'anello, Saturno ha il corteggio di otto satelliti che circolano intorno a lui da occidente ad oriente in orbite che, come il piano dell'anello, sono disposte secondo l'equatore del pianeta ed inclinate di circa 28°, $^1/_2$ al piano dell'eclittica; salvo l'orbita dell'ottavo satellite che si accosta molto più a questo piano. I satelliti di Saturno ebbero ciascuno un nome proprio, furono scoperti da diversi astronomi: il sesto da Huyghens, il terzo, il quarto, il quinto e l'ottavo da Domenico Cassini, il primo e il secondo da Herschel, il settimo nella medesima notte (19 settembre 1848) da Lassel a Liverpool e da Bond a Cambridge negli Stati Uniti. Le distanze medie dal pianeta, preso per unità il raggio equatoriale di questo, e le durate delle rivoluzioni sono le seguenti:

Satelliti e loro nomi	Distanze medie dal pianeta	Durate delle rivoluzioni intorno al pianeta
1.° Mima	3,35	0^{gior},94
2.° Encelado	4,30	1, 37
3.° Teti	5,28	1, 89
4.° Dione	6,82	2, 74
5.° Rea	9,52	4, 52
6.° Titano	22,08	15, 94
7.° Iperione	27,78	22, 50
8.° Giapeto	64,36	79, 33

Anche l'anello di Saturno gira nel proprio piano intorno al pianeta da occidente ad oriente, e ciò è palese per certe irregolarità osservate in esso che mutano di luogo; il giro si spedisce in 10^{or}, 32^{m}, 15^{s}.

Herschel vide aggirarsi intorno ad Urano 6 satelliti. Si è potuto definire con sicurezza solamente il moto di due, il secondo e il quarto; essi percorrono orbite inclinate per 79° al piano dell'eclittica, e le percorrono da oriente ad occidente o con moto retrogrado. Le distanze dei satelliti dal pianeta espresse in raggi di questo e le durate delle rivoluzioni sono come segue:

Satelliti	Distanze medie dal pianeta	Durate delle rivoluzioni intorno al pianeta
1.° satellite	13,12?	5$^{g\ or}$,89
2.° »	17,02	8, 71
3.° »	19,85?	10, 96?
4.° »	22,75	13, 46
5.° »	45,51	38, 07?
6.° »	91,01	107, 69?

Lassel ha scoperto che Nettuno è accompagnato da un satellite che gli si gira intorno in giorni 5,87. L'orbita sua ha un raggio che è circa 15 volte quello del pianeta ed è inclinata di 35° all'eclittica.

308. *Opinioni degli Antichi sulla struttura dell'universo.*

Ora che abbiamo raccolto un buon numero di fenomeni celesti è tempo che cerchiamo di ravvisarli nel vero essere loro. Senza la notizia della condizione vera dei fatti sarebbe vano ogni tentativo di scorgere le relazioni onde sono per avventura collegati tra loro e di scoprire la virtù che li regge. In questi fatti grandiosi che a noi è dato di contemplare soltanto da lungi, le apparenze ponno essere molto disformi dalla realtà, e non v'è altro metodo per giungere alla cognizione della realtà se non quello che ho già indicato (§ 243). Con la scorta degli accidenti che potessero competere al globo dove siamo a guardare, e tenendo conto degli effetti di prospettiva, si immaginino que' diversi ordini di cose e di moti che sono capaci di offrirci del paro le forme più generali dei fenomeni che vediamo; poi si raccolgano dalle particolarità di essi fenomeni quanti più indizii si può che concorrano a dimostrare meglio probabile o l'uno o l'altro di questi ordini; e infine si ponga l'ingegno a divisare modi tali di osservazione che debbano condurre a risultamenti diversi quando sia vero l'uno anzi che l'altro degli ordini immaginati, e commettano così la decisione alla testimonianza stessa dei fatti. Questo fu puntualmente il cammino che tenne la scienza nel corso dei secoli per giungere a conoscere la struttura dell'universo.

Ecco un bel complesso di fenomeni: la conversione diurna della sfera celeste, la rivoluzione annua del sole e la mensile della luna intorno alla terra, i giri dei pianeti sotto il zodiaco, le rotazioni del sole, della luna e di ciascun pianeta in sè stesso, le circolazioni dei satelliti intorno al loro pianeta.

Il primo concetto che l'uomo doveva formare di questi fenomeni è che essi avvengano così come si danno a vedere; e gli Antichi di fatti accolsero meglio d'ogni altra l'opinione che i movimenti dei corpi celesti siano in realtà quali appariscono. Credettero dunque che tutta quanta la sfera stellata si rivolga in 24 ore da oriente ad occidente intorno ad un suo diametro, nel mezzo del quale sia costituita la terra; e vedendo che le stelle in questo moto non variano sito tra loro, pensarono che la sfera fosse ben solida e tenesse tutte le stelle saldate nel concavo suo; e il diametro, asse della rotazione, avevano in conto, non già di una retta ideale, ma di una gran verga ben solida imperniata ai due capi: Vitruvio la descrive come se la avesse veduta. Stimavano che nella vertigine della sfera vadano rapiti e il sole e la luna e i pianeti, i quali corpi abbiano tuttavia un altro moto loro proprio, onde ciascuno fac-

ciò quel giro che vediamo che fa in diverse lunghezze di tempo intorno alla terra. E poichè pareva loro non conforme agli andamenti equabili della natura che questi moti particolari fossero quando veloci quando tardi, e nei pianeti ammettessero anche delle stazioni e dei regressi (§ 304), vennero immaginando alcune condizioni che avessero per effetto prospettico di rappresentare a noi quella maniera di accidenti, ma che salvassero nei moti dei corpi celesti la condizione di essere circolari ed uniformi, la quale era dagli Antichi vagheggiata come norma di semplicità e di perfezione che la Natura non si recasse mai a trasgredire.

Eccentrico. Epiciclo. Deferente. Ipparco, 160 anni innanzi Cristo, a rendersi ragione delle diverse velocità del sole nell'annua carriera (§ 275), pensò che la terra non fosse proprio nel centro (O, fig. 211) del cerchio (MENE') percorso con moto uniforme dall'astro, ma ne fosse un po' rimota (in T). Così, mentre il sole gira nel cerchio con velocità costante, il suo moto veduto dalla terra non deve parere uniforme, bensì deve parere più veloce nelle parti (verso M) del cerchio più prossime alla terra, e meno veloce nelle parti (verso N) più lontane; e la velocità apparente deve diminuire grado grado intanto che il sole passa da quelle a queste, e crescere intanto che torna da queste a quelle. In tale ipotesi dunque il sole si move in un circolo il cui centro è fuori della terra, o come s'usa dire, si move in un *eccentrico*, e v'è sull'eccentrico un punto (M) che trovasi alla minima distanza dalla terra e un punto (N) che trovasi alla massima distanza: sono il perigeo e l'apogeo.

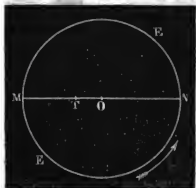



Fig. 211.

Ipparco fece, al medesimo uopo, anche questa ipotesi. Il sole (S, fig. 212) descrive di moto uniforme un cerchio, il cui centro (C) si move pur di moto uniforme su d'un altro cerchio (CC'C''C'''), nel centro (T) del quale sta la terra. Il primo cerchio si chiama *epiciclo*, l'altro *deferente*. Mentre il sole nello spazio di un anno fa un giro nell'epiciclo il centro di questo percorre tutto il deferente. Ne viene che il sole, nel suo moto composto, si trova ora dentro il deferente (in S,S') ora fuori

(in $S''S'''$), e però si trova ora più vicino alla terra ora più lontano, e ne dee seguire che il suo moto, sebbene tenga sempre la stessa legge, apparisca, a chi dalla terra lo guarda, ora più veloce ora meno. Questa seconda ipotesi di Ipparco, sotto l'aspetto geometrico, non è punto diversa dalla prima dell'eccentrico; perchè si dimostra facilmente che il

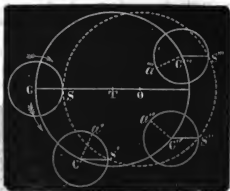



Fig. 212.

sole passa così per una serie di punti che formano nello spazio un cerchio ($SS'S''S'''$) il cui centro (O) trovasi fuori della terra (T), formano cioè un vero eccentrico (1); ma sotto l'aspetto meccanico o delle forze che reggono il moto, questa ipotesi non tornerebbe uguale alla prima. Ipparco però nel metterla innanzi non aveva certo il pensiero alle ragioni meccaniche, mirava solo a spiegare la differenza di velocità del sole nel moto annuo, e però veniva a dire con altre parole quel medesimo che aveva già detto nella prima ipotesi.

Le due ipotesi furono rimesse in campo a giustificare le variazioni di velocità della luna, ma si dovè modificarle e l'una e l'altra per condurle a rendere conto della particolarità che il luogo di cielo in cui la luna va più veloce si trasmuta fra

(1) Se l'epiciclo scorresse in sul deferente come a dire menato da un'asta rigida TC (fig. 212), che girasse intorno a T, e se intanto il sole stesse fermo sempre al medesimo luogo dell'epiciclo, il sole verrebbe successivamente nei punti dello spazio a', a'', a'''. Ma l'astro si move nell'epiciclo, e con una velocità angolare eguale a quella dell'epiciclo nel deferente; dunque, mentre l'epiciclo passa da C in C', l'astro va nell'epiciclo da a' in S' per l'arco $a'S'$ eguale in numero di gradi all'arco CC', e così via. Per siffatta legge quel raggio $S'C'$ dell'epiciclo che fa capo nel sole rimane sempre parallelo alla prima sua direzione CS. Ne consegue che tirata da T una retta TO uguale e parallela a CS, e descritta una circonferenza di circolo col centro in O e col raggio OS, questa circonferenza passa proprio per tutti i luoghi S, S', S'', S''' a cui viene il sole nel suo moto; e così il sole percorre un circolo di centro O, che non è altro se non il deferente $CC'C''$ fatto scorrere parallelamente a sè di tanto che il suo centro si trasmuti da T in O, e però i punti C, C', C'' cadano in S, S', S''. Il sole dunque si move intorno ad O, giusto come il punto C si move intorno a T; e la nuova ipotesi si risolve in questa, che il sole descrive uniformemente un cerchio il cui centro è nel punto O discosto dalla terra, vale a dire si risolve nella prima ipotesi dell'eccentrico.

le stelle da occidente ad oriente. Perciò nella ipotesi dell' eccentrico si ammise che mentre la luna percorre di moto uniforme l' eccentrico (EE, fig. 213), il centro (O) di questo si aggiri lento lento nel medesimo verso intorno alla terra (T). Ed all' ipotesi dell' epiciclo e del deferente si aggiunse la condizione che la luna (L, fig. 214) spende più tempo a fare il

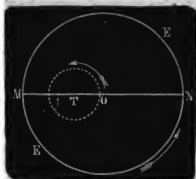



Fig. 213.

Fig. 214.

giro dell' epiciclo che non ne spende il centro (C) di questo a fare il giro del deferente. Così mentre la luna, partita da una posizione sua (L) dove ha la velocità massima, compie il giro dell' epiciclo e ritorna alla posizione analoga (L'), il centro dell' epiciclo percorre tutta la periferia del deferente e un poco d' arco di più, onde al restituirsi della velocità massima questo centro, essendosi alquanto inoltrato (in C'), non cade nella visuale anteriore (TC), ma cade in una visuale (TC') diretta ad un' altra parte di cielo.

Le due ipotesi non tornavano ancora sufficienti a tutte le variazioni del moto della luna; fu mestieri di altre modificazioni: per esempio, di ammettere nella seconda ipotesi non essere già la luna che si rivolga di moto uniforme nell' epiciclo, ma essere il centro (D, fig. 215) d'un secondo epiciclo minore, e la luna moversi veramente sopra di questo secondo epiciclo.

Fig. 215.

Si comprende bene come con più e più moti circolari ed

uniformi debitamente sistemati si possa conferire alla luna un tale moto angolare circa la terra che risponda appuntino alle variazioni osservate in tutto il periodo. L'ipotesi degli epicicli diventò l'esempio con che gli Antichi s'ingegnarono di spiegare tutte le ineguaglianze dei moti celesti e di raffigurare la costituzione dell'universo.

Sistema di Tolomeo. Le immagini degli Antichi circa il moto dei pianeti ci furono conservate nelle opere di Tolomeo, astronomo di Alessandria, che visse nel principio del secondo secolo dell'Era nostra; perciò il complesso di tali immagini si dice il *sistema di Tolomeo*. Eccone uno schizzo. Sta la terra (T, fig. 216) nel centro dell'universo: intorno a lei si aggi-

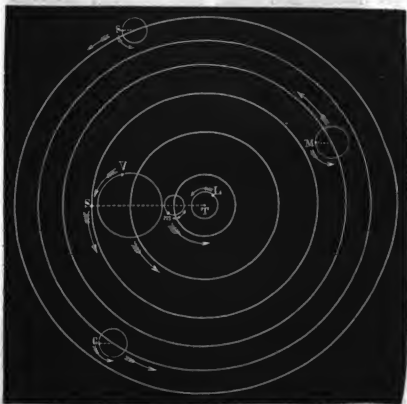



Fig. 216.

rano i sette astri chiamati pianeti: la Luna (L), Mercurio (*m*),

Venere (V), il Sole (S), Marte (M), Giove (G) e Saturno (S); e si aggirano, movendosi ciascheduno, come si è detto del sole e della luna, in un epiciclo il cui centro percorre un deferente, oppure si connette al deferente per uno o più altri epicicli, quanti e quali è d'uopo a rendere buon conto del moto diretto e delle stazioni e dei regressi.

Il centro dell'epiciclo di Mercurio e di quello di Venere si movono ciascuno sul proprio deferente in guisa da mantenersi ognora nella retta (TS) che va dalla terra al sole. Per questa condizione è chiaro come debba parere a noi che i due pianeti oscillino entro certi confini (§ 304) da una parte e dall'altra del sole, e intanto si movano di conserva col sole nella sfera celeste di moto alterno, diretto e retrogrado in riguardo alle stelle.

Marte, Giove e Saturno descrivono il loro epiciclo particolare con legge tale che il raggio condotto dal pianeta al centro dell'epiciclo rimane sempre parallelo alla retta (TS) che va dalla terra al sole. Siffatta legge governa il moto di questi pianeti in guisa che esso deve apparire a noi quale di fatto apparisce (§ 304).

I piani degli epicicli non si adagiano esattamente dentro il piano dell'orbita solare, ma sono un po' obbliqui ad esso; quindi è che i pianeti si trovano ora da un lato ora dall'altro dell'eclittica.

L'ordine con che sono disposti i varii pianeti a diversa distanza dalla terra venne fissato con la regola del tempo ch'essi spendono a fare il giro del cielo, reputandosi che la distanza sia tanto più grande quanto più quel tempo è lungo. La regola non vale rispetto a Mercurio e a Venere; i quali compiono entrambi un giro sotto il zodiaco nell'egual tempo che il sole, cioè in un anno: alcuni degli Antichi collocarono questi due pianeti al di là del sole, altri al di qua fra il sole e la terra. Tolomeo tenne il secondo avviso, e stimò che Mercurio si trovi più vicino a noi che non Venere, perchè la sua rivoluzione sull'epiciclo si spedisce in minor tempo che quella di Venere. Le distanze dei varii pianeti dalla terra e tra di loro non sono però definite nel sistema di Tolomeo, giacchè a spiegare le stazioni e i regressi di un pianeta non è mestieri che l'epiciclo e il deferente abbiano una grandezza assegnata, ma basta che vi sia tra i raggi dei due cerchi un certo rapporto il quale è diverso da un pianeta all'altro. Tenuto salvo questo

rapporto si può ingrandire i due cerchi quanto si vuole e recare il pianeta a diverse distanze (1).

(1) Valga un esempio. Sia T (fig. 217) la terra, S il sole, ASB un arco

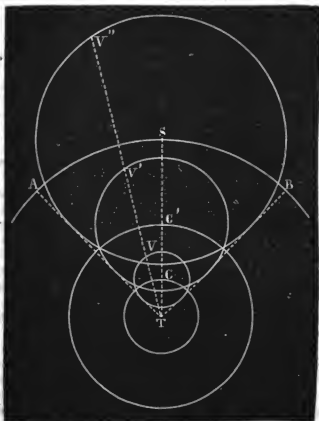



Fig. 217.

dell'orbita del sole, ossia della eclittica. I moti apparenti di Venere V si spiegano bene col dare al deferente il raggio TC, all'epiciclo il raggio CV, i quali raggi siano così proporzionati tra loro che l'angolo ATS uguagli il valore della massima elongazione orientale od occidentale del pianeta circa 46° (§ 304). Ma essi moti si spiegano bene del pari dando al deferente il raggio maggiore TC' ed accrescendo nella medesima ragione il raggio dell'epiciclo, affinchè rimanga salva la condizione suddetta riguardo all'angolo ATS. E giovi notare che si può anche accrescere il raggio del deferente sino a farlo eguale al raggio stesso TS dell'orbita del sole, con che si viene ad ammettere che Venere V'' percorra un epiciclo il cui centro coincida col centro del sole e sia trasportato dal sole intorno alla terra nel giro annuo. Ecco dunque che si può assegnare a Venere una distanza TV, o TV', o TV'', o

Se ai moti dei pianeti intorno alla terra si aggiunge la conversione diurna della sfera, con le sue stelle e coi pianeti, circa l'asse del mondo, si compie il quadro del sistema astronomico ricevuto dalla maggior parte degli Antichi. Il sistema, considerato in que' tempi, che non si aveva nessuna giusta notizia delle grandezze e delle distanze dei corpi celesti, e che la speculazione doveva mettersi nella ricerca dei modi geometrici dei fenomeni prima che le potesse giovare il lume della meccanica razionale, cioè delle leggi onde le forze reggono i movimenti, è un sistema che non merita sprezzo. Il bisogno di aggiungere epicicli ad epicicli, per soddisfare alle più minute particolarità del corso dei pianeti, gli tolse presto quel pregio della semplicità che pare l'impronta del vero, ma nel suo principio il sistema che accetta le apparenze sensibili come forme fedeli della realtà, è il primo stadio che la speculazione doveva naturalmente passare per condursi al santuario della scienza.

Opinioni della scuola italica. Alcuni degli Antichi, e principalmente la scuola italica fondata da Pitagora 550 anni avanti Cristo, si fecero della struttura del mondo un altro concetto. Stimarono che il moto diurno della sfera stellata non sia reale, ma sia una apparenza data a noi dal rivolgersi il globo terrestre in sè stesso; e che anche il moto annuo del sole sia una apparenza dipendente da un altro moto che fa la terra intorno al suo luminare.

In queste dottrine non v'è cosa che non sia ammissibile.

Quanto alle ragioni prospettiche, la variazione degli aspetti celesti deve seguire per noi puntualmente nello stesso modo, o si movano la sfera e il sole e stia ferma la terra, o si mova la terra e stiano fermi gli altri corpi. Se la terra si move, noi, come abitatori di essa, e in conseguenza partecipi del movimento medesimo, non possiamo accorgerci che si mova, mentre guardiamo solo alle cose terrestri; ma se guardiamo alla università degli altri corpi visibili che, essendo separati dalla terra, mancano di quel movimento, e' ci deve parere che si movano essi in direzione contraria al movimento della terra. Così chi si trova in un battello che discende un fiume non vede alcun moto degli oggetti che son nel battello, ma vede le sponde fuggire verso l'alto del fiume.

altra qualunque, dalla terra, senza che la spiegazione dei moti ne scapiti. Lo stesso può dirsi degli altri pianeti; e però è vero che nel sistema di Tolomeo le distanze dei varii pianeti dalla terra e tra di loro non sono definite, perchè non v'ha nessuna condizione che ne fissi il valore.

E quanto alle condizioni proprie della terra, è ben possibile che questa si mova; perciocchè la terra è librata e sciolta nello spazio e non sorretta o altrimenti ritenuta.

Dunque i moti generali che vediamo nel cielo potrebbero non essere che apparenti per effetto di moti che siano in realtà della terra.

309. *Esame delle diverse opinioni sulla struttura del mondo. Moto rotatorio della terra.* Conosciuto in generale che le idee della scuola italica non sono contrarie ai fenomeni ed alle condizioni delle cose, facciamoci ad esaminarle in particolare, ponendole al paragone con le altre più comuni degli Antichi. E si cominci da quella che riguarda la conversione diurna della sfera.

Quando la sfera fosse immobile, e il globo terrestre avesse un moto uniforme di rotazione da occidente ad oriente intorno a un suo diametro parallelo all'asse del mondo, noi abitatori del globo vedremmo il complesso delle stelle girare da oriente ad occidente intorno a quel diametro, o ciò che vale il medesimo per la grandissima distanza delle stelle, intorno ad una retta parallela a quel diametro la quale passi per il luogo dove siamo ad osservare; vedremmo dunque un moto diurno di tutte le stelle uguale a quello che vediamo di fatto. Così di questo fenomeno si può dar ragione in due maniere diverse: o la terra è immobile e le stelle girano, tutte composte insieme, da oriente ad occidente, circa un asse che attraversa la terra, o al contrario le stelle non si movono e la terra si rivolge in su quell'asse da occidente ad oriente. Discorriamo gli argomenti che fanno più probabile nella realtà o l'una o l'altra maniera.

1.° Le stelle non sono già confitte in una sfera di cristallo che tutte le raggiunga in un sistema; sono corpi liberi nella immensità dello spazio, e distanti gli uni dagli altri per intervalli grandissimi, e dalla terra poi pei intervalli molto diversi. Noi chiamiamo *sfera* l'università dei corpi e degli spazii cosmici, perchè le nostre visuali si dilungano del pari in ogni lato senza incontrare confini, come i raggi di una sfera immensa; il nome di sfera accenna ad una apparenza non alla realtà; noi non vediamo limiti nell'universo, e però non ne sappiamo la forma. Ora se il moto diurno fosse delle stelle sparse così diversamente nello spazio, e non della terra, quanta disparità vi sarebbe mai tra i moti proprii delle stelle! Altre si moverebbero lentissimamente in cerchi piccolissimi, altre velocissi-

mamente in cerchi vastissimi, secondochè si trovano più o meno vicine ai poli; e si moverebbero in cerchi pur molto diversi quelle che si trovano a diverse altezze di cielo nel medesimo piano parallelo. Quando una sola sfera solida le tenesse tutte e le menasse tutte in volta, come credevano i più degli Antichi, la disparità dei moti sarebbe una conseguenza necessaria della costituzione celeste, ma la sfera solida non v'è; onde riesce una improbabilità stupenda che le stelle si movano di moti così diversi e insieme così concordi come fossero tante parti di un medesimo corpo solido. « Qual legge regolerà i moti loro, e a che fine, per far che rimirati dalla terra appariscano come fatti da una sola sfera? » (1) La maraviglia dell'incredibile cede il luogo alla facile persuasione del vero se il moto diurno si attribuisce alla terra. Il moto unico di rotazione della terra induce per effetto necessario quell'apparenza di tanti moti diversi e sistemati.

2.° Se guardasi alla mole immensa della sfera stellata in comparazione della piccolezza del globo terrestre, chi mai può avere per cosa più ragionevole e credibile che la sfera sia quella che dà la volta, e non invece il globo terrestre? Non altri, non altri che uno il quale salito in cima di una cupola « per dar una vista alla città e al suo contado domandasse che se gli facesse girare intorno tutto il paese, acciò non avesse egli ad aver la fatica di volgere la testa » (2). Qual merito valse a questo grano di polve l'onore che tutto l'universo gli si giri d'intorno? Oh togliamoci giù dal pensiero che il sole e gli astri tutti non siano ordinati ad altro uso che al servizio della terra!

3.° La velocità necessaria alle stelle più lontane per fare un giro in 24 ore è milioni e milioni di volte più grande che la velocità della luce!

4.° Quando si attribuisca questo gran moto al cielo bisogna farlo da oriente ad occidente, cioè contrario ai moti particolari di tutti i pianeti, e conviene poi fare altresì ch'esso rapisca nella sua vertigine questi corpi mentre corrono tuttavia per l'altro verso; dove che facendosi movere la terra in sè stessa, si leva la contrarietà dei moti, e il solo movimento da occidente in oriente si accomoda a tutte le apparenze e soddisfa

(1) Galileo. *Dialogo dei massimi sistemi*. Giornata seconda. Ediz. dell'Albèri, pag. 134.
(2) Galileo. *Dialogo sudd.*, pag. 129.

a tutte compiutamente. Perchè rifiutare questo partito e dar assenso invece a strane e laboriose condizioni? (1).

5.° Il moto diurno delle stelle, nel supposto che sia reale, se guardasi alle ragioni meccaniche, ossia alle necessarie relazioni causali tra i moti e le forze, è una grave impertinenza che confina coll'assurdo. E invero, ogni stella si aggira uniformemente per la periferia di un cerchio posto in un piano perpendicolare all'asse del mondo; i centri dei diversi cerchi sono diversi punti di questo asse e trovansi in generale molto lontani dalla terra. La meccanica insegna che un corpo, per moversi nella periferia di un cerchio, dev'essere attratto verso il centro da una forza continua costante la cui grandezza ha un rapporto definito colla velocità del moto e insieme col raggio del cerchio; però è ragionevole di pensare che le stelle non possano moversi di quella guisa se non in quanto le regga un'attrazione continua verso quei punti. Ora l'esperienza dimostra che le forze operano sempre dalla materia (§ 27) come da sede loro naturale; non si dà esempio che una forza, agente su di un corpo in una certa direzione, non venga esercitata da un altro corpo che si trovi in quella direzione. Un astro non può dunque essere attirato di continuo verso il centro dell'orbita ch'esso descrive, se in tale centro non si trova un corpo immobile da cui operi la forza. Così per ammettere i movimenti di rivoluzione di tutti gli astri è mestieri che lungo l'asse del mondo, nei diversi centri dei movimenti giacciano diversi corpi; ma noi non vi scorgiamo nulla; è l'asse una linea ideale; ogni suo punto è un ente geometrico, ma in senso meccanico è un niente senza veruna facoltà.

E quando pur si conceda che i punti non materiali dell'asse esercitino forze motrici su cose materiali come sono gli astri, non si può spiegare il movimento di questi, che è tanto più veloce quanto più gli astri sono remoti dall'asse, ove non si ammetta ancora che tali forze operano sui corpi con tanto maggiore energia quanto più i corpi sono lontani dall'origine di esse; la qual legge è contraria ad ogni esperienza.

Questa osservazione toglie ogni fede che le rivoluzioni degli astri siano reali, e ci persuade che elle siano mere apparenze create dal moto rotatorio del globo.

6.° La meccanica invece non trova nessuna incongruenza nel moto di rotazione della terra sopra un diametro. Anzi sta nelle

(1) Galileo. *Dialogo sudd.*, pag. 131, 136.

sue leggi che un corpo libero a cui sia stato impresso un tal moto debba per l'inerzia conservarlo inalterato, cioè sempre con la medesima velocità; così è di santa ragione che il moto rotatorio della terra sia uniforme e non si muti per volgere di tempo.

7.° La meccanica d'altra parte ci conduce a ravvisare nella forma della terra, che è depressa ai poli e rigonfia all'equatore, un indizio che la terra giri veramente intorno alla linea de' poli suoi. V'è ragione di credere che un tempo le materie tutte del globo terrestre fossero, per altissima temperatura, fluide o pastose. Allora il moto rotatorio del globo intorno a quella linea, mettendo una diversa velocità nelle varie parti della terra, e però generando in esse una forza centrifuga diversa, tanto più grande quanto più sono discoste dai poli verso l'equatore, doveva alterare la forma di sfera che la terra tendeva a prendere per una mutua attrazione che vedremo esercitarsi fra tutte le sue parti; e la doveva alterare propriamente nel modo che conduce alle differenze che vi troviamo. Questa alterazione effettiva è buon argomento di credere che esista di fatto quel moto rotatorio il quale sarebbe stato idoneo a produrla, ed anzi l'avrebbe necessariamente prodotta.

8.° Il diminuirsi la gravità mano mano che dai poli si procede verso l'equatore (§ 41) non riceve spiegazione compiuta se non si ammette la forza centrifuga diversa indotta nei corpi dal moto rotatorio del globo intorno alla linea dei poli.

9.° Anche i venti alisei attestano la rotazione del globo, la quale par necessaria a dare piena ragione di essi (§ 94).

10.° I pianeti che sono corpi oscuri, e pare che nella essenza convengano con la terra, mostrano di rivolgersi in sè medesimi di moto uniforme e nella direzione da occidente ad oriente; i più vicini a noi ne danno segni manifesti (§ 306). Attribuire dunque alla terra il movimento rotatorio con quelle condizioni, non è già porre un fenomeno singolare, è comprendere la terra in una regola che le analogie, quando pure mancasse ogni altra ragione, ci condurrebbero per sè sole a stabilire.

In somma da qualunque lato si confrontino le due opinioni circa la rivoluzione diurna, si vede che quella del moto proprio della terra è a gran pezza più probabile dell'altra.

310. *Prove dirette della rotazione della terra. Deviazione verso est dei gravi cadenti.* Laplace per tanto concorso di ar-

gomenti pronunciava che la rotazione della terra è una verità fisica, ma aggiungeva che sarebbe pur bello di avere una prova diretta del fenomeno. Il voto di Laplace è adempiuto. Si seppe immaginare ed eseguire di quegli esperimenti che, come dissi (§ 308), valgono a decidere tra due sentenze diverse, recandole al cimento coi fatti.

Dall'alto di una torre si lasci cadere un grave dalla parte di est o di ovest. Se il globo non gira, il grave dee correre lungo il filo a piombo parallelo alla parete della torre, e battere a terra così discosto dalla torre come ne è discosto il punto da cui partì. Ma se il globo ruota da ovest ad est, menando seco tutti i corpi terrestri, la velocità di questo moto dev'essere un po' maggiore nei corpi in alto che nei corpi al basso, per la ragione che quelli devono fare nel medesimo tempo un giro più grande che questi; la cima della torre deve moversi più veloce che non la base. Il grave che si lascia cadere dalla cima non può dunque, per la velocità più grande che ha da ovest ad est in quell'alto punto di partenza, tenere la direzione verticale ma deve uscirne un poco verso levante. La deviazione può diventare sensibile ove l'altezza della caduta sia grande. Le esperienze furono fatte da Guglielmini alla torre di Bologna, poi da molti altri in diversi luoghi, e tutte diedero prova del moto della terra. Da ultimo Reich le ha ripetute a Freyberg in un pozzo di miniera che scende dritto per $158^{m},5$. Il valore medio delle deviazioni verso est, notate da lui in molte prove, fu di $0^{m},0285$; giusta il calcolo la deviazione avrebbe dovuto essere di $0^{m},0276$: la differenza è ben piccola in esperimenti così difficili ad eseguirsi con esattezza.

311. *Pendolo di Foucault.* Foucault nel 1851 e nel 1852 addusse altre prove più patenti. Eccole.

Si immagini un pendolo formato d'una sfera omogenea sospesa per un filo flessibile a un punto fisso. E per maggiore chiarezza suppongasi dapprima che il pendolo si trovi al polo nord del globo, e che il punto della sospensione sia sul prolungamento dell'asse terrestre, e si astenga dal movimento diurno. In queste condizioni il pendolo, distolto dalla sua posizione di equilibrio e quindi lasciato a sè in guisa che non riceva alcuna spinta di fianco, fa una serie di oscillazioni in un arco di cerchio il cui piano verticale è ben definito. L'inerzia della materia non permette che nel succedersi delle oscillazioni il pendolo esca menomamente di questo piano, il quale mantiene così una posizione fissa nello spazio.

Non ha la terra il moto di rotazione intorno all' asse? Allora gli oggetti circostanti serbano sempre il loro sito rispetto al piano fisso delle oscillazioni; e non deve mai parere che il pendolo esca dal piano in cui prese ad oscillare.

Ha la terra il moto di rotazione da occidente in oriente? Allora, siccome il pendolo al polo conserva la sua posizione nello spazio mentre la terra gira effettivamente sul proprio asse, gli oggetti, girando con la terra, mutano di sito rispetto al piano fisso delle oscillazioni; i piani dei diversi meridiani terrestri vengono di seguito a coincidere con quel piano. L'osservatore che sta sulla terra, e non si accorge di girare con essa, reputa che i meridiani terrestri siano immobili, e che per converso il piano di oscillazione del pendolo si rivolga intorno all' asse e vada a collocarsi di seguito nei piani dei diversi meridiani, movendosi come gli astri da oriente ad occidente, con una velocità angolare uguale a quella del moto rotatorio della terra. Ove la serie delle oscillazioni durasse abbastanza, si vedrebbe il loro piano far tutto un giro intorno alla verticale nel volgere di un giorno sidereo. Così quando la nave gira sopra sè stessa, chi guarda l' ago della bussola, il quale tiene sempre una direzione, gli pare ch' esso giri in senso contrario al moto vero degli oggetti circostanti che sono menati a cerchio dalla nave.

La condizione posta di sopra che il punto a cui attaccare il pendolo si astenga dal movimento diurno, non può essere adempiuta quando sia vero che il globo giri; perciò s' ella fosse una condizione necessaria, l'esperienza non si potrebbe eseguire neppure nel caso che ci fosse dato di portare il pendolo al polo nord. I sostegni del punto, girando col globo, volgerebbero in giro sopra sè stesso anche il punto, e potrebbe nascere dubbio che il movimento, comunicandosi al filo e alla sfera del pendolo, non avesse ad alterare la giacitura del piano di oscillazione. Ma quella condizione non è necessaria: le dottrine teoretiche e l' esperienza dimostrano che se il filo teso è lungo é tondo ed omogeneo si può farlo girare al capo superiore sopra di sè in un verso e nell'altro, senza che questo moto influisca nelle oscillazioni, le quali per l'inerzia della sfera, si mantengono sempre nel medesimo piano. Dunque l'esperienza si potrebbe istituire al polo come fu descritta, e dall'un effetto o dall'altro che si osservasse, verrebbe a dichiararsi di fatto se la terra sta ferma oppur si move.

Se dal polo si passa alle latitudini minori il fenomeno deve

modificarsi. Mano mano che si procede verso l'equatore il piano dell' orizzonte s' inclina sempreppiù all' asse del globo, e nel supposto che il globo si rivolga intorno all'asse, il sistema del pendolo si move anch'esso, perchè la linea verticale del punto di sospensione, invece di rimanere fissa nello spazio e di girare solo sopra di sè come al polo, prende nello spazio diverse direzioni, e descrive in un giorno sidereo un cono che è tanto più aperto quanto più piccola è la latitudine del luogo. Il piano di oscillazione si mantiene tuttavia immutabile relativamente alla verticale per l' inerzia della sfera, ma per le cangiate condizioni, il suo moto apparente intorno alla verticale, dipendente dalla rotazione del globo, deve farsi più tardo col diminuirsi della latitudine. All' equatore la verticale del pendolo descrive durante la rotazione della terra un piano perpendicolare all' asse, ed il sistema del pendolo ha proprio in questo piano la velocità di rotazione della terra e la conserva; perciò il piano delle oscillazioni non deve mostrare alcun mutamento di posizione rispetto ai corpi della superficie terrestre. Nell'emisfero australe poi il moto apparente di esso piano intorno alla verticale deve ricomparire, ma in direzione contraria, perchè ivi la posizione dell'osservatore è inversa di quella nell'altro emisfero. Nell' emisfero boreale il moto deve parere si faccia dalla destra alla sinistra, nella metà del piano che è la prima dinanzi l' osservatore, e inversamente nell' altra al di là; nell' emisfero australe deve parere si faccia in direzione contraria: all'equatore il piano d'oscillazione deve parere immobile; non v' è ragione che paja girare meglio in un senso che nell' altro. Il calcolo dice quale abbia ad essere nelle diverse latitudini la velocità del moto apparente del piano delle oscillazioni [1].

(1) Il circolo PE'P E (fig. 218) sia un meridiano terrestre; P il polo boreale, P' l'australe, EE' la projezione dell' equatore. Si voglia trovare il moto del piano di oscillazione in un punto A qualunque, che non sia un polo e non appartenga all' equatore. La Meccanica insegna che, rappresentato con la retta OB l' angolo di che la terra si rivolge intorno al suo asse in un tempo brevissimo, e costruito il parallelogrammo OCBD coi lati OC, OD, l'uno sulla OA, l'altro perpendicolare ad esso, la rotazione OB intorno all'asse PP' può scomporsi in due rotazioni, l'una attorno di OA e rappresentata in grandezza da OC, l' altra attorno di OF e rappresentata da OD (una elegante dimostrazione di questo teorema fu data da Poinsot nel giornale di Liouville, Genn. e Febbr. 1851). Si sostituiscano alla rotazione OB della terra intorno all' asse le due rotazioni simultanee OC attorno di OA, ed OD attorno di OF, e si cerchi quale influenza abbia ad esercitare ciascheduna di esse nella direzione del piano di oscillazione di un pendolo che

La prova si può dunque fare nei nostri paesi. Foucault la fece a Parigi nel 1851, prima con un pendolo il cui filo era lungo 2 metri, poi con un apparecchio grandioso nel Panteon. Levato il gran tappo che chiude la cupola al sommo, si ebbe un'apertura circolare larga un metro e mezzo; vi fu imposta attraverso una trave che aveva nel mezzo un largo foro conico dilatato all'ingiù; l'asse del foro si recò a confondersi con l'asse della cupola. Un filo d'acciajo di ben 64 metri e grosso un millimetro e mezzo fu calato lungo quell'asse e sospeso a un pezzo di metallo posato sul piano superiore della trave. Al capo inferiore del filo si attaccò una sfera pur di metallo che pesava 28 chilogrammi. Questo gran pendolo venne

Fig. 218.

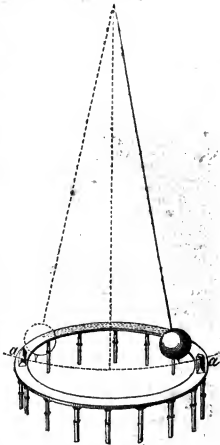
sia nel punto A. In quanto alla rotazione della terra intorno ad OF il pendolo in A è nello stesso caso che quando si trova in un punto dell'equatore EE', mentre la terra gira intorno alla linea dei poli PP'; il piano di oscillazione non riceve dunque alcun cambiamento dal moto della terra intorno ad OF, però la rotazione OD si può lasciare da parte. Rimane la rotazione OC come se esistesse da sola. Rispetto a questa il pendolo in A è nello stesso caso che quando si trova in P rispetto alla rotazione vera della terra intorno alla linea PP'; dunque deve parere che il piano di oscillazione giri intorno della verticale OA con una velocità angolare uguale a quella con che parrebbe girare se la terra, invece di moversi con la rotazione OB, si movesse con la sola rotazione OC. Detta x la rotazione del piano intorno alla verticale in A, e v la rotazione del piano intorno alla verticale nel polo P, è $x : v = \mathrm{OC} : \mathrm{OB} = sen\,\mathrm{CBO} : 1 = sen\,\mathrm{COE} : 1$, ossia, detta λ la latitudine del punto A, $x : v = sen\lambda : 1$, da cui $x = v\,sen\lambda$. Ora la rotazione v uguaglia in grandezza la rotazione diurna della terra, ma si fa in senso contrario; dunque in generale il moto angolare che apparisce in un certo tempo nel piano d'oscillazione del pendolo in un punto qualunque della terra è uguale, ma in direzione opposta, al moto angolare che fa nel medesimo tempo la terra, moltiplicato per il seno della latitudine del luogo.

È poi manifesto che il verso nel quale segue il moto apparente del piano intorno alla verticale è quel medesimo in cui segue nel polo dell'emisfero dove si trova il punto A: la metà del piano che è la prima dinanzi l'osservatore, va dalla destra alla sinistra nell'emisfero boreale, dalla sinistra alla destra nell'australe.

La teoria rigorosa del pendolo di Foucault non è cosa facile: vedasi quella che fu data dal nostro Bellavitis all'Istituto Veneto nell'adunanza 22 marzo 1852 (*Atti delle adunanze dell' I. R. Istituto Veneto di Scienze, ecc.* Tom. III, Serie II, pag. 91).

messo in movimento, e il modo fu tale: si cinse la sfera con un'ansa di refe, con la quale tirando si distolse il pendolo dalla posizione di equilibrio; si raccomandò il capo dell'ansa a un punto della barriera circostante, e come fu estinta ogni oscillazione laterale, indotta per avventura nel pendolo mentre lo si spostava, si diè fiamma al filo dell'ansa in un luogo remoto dalla sfera; questa non più trattenuta prese a discendere, lasciando subito cadere il refe che la cingeva, e così ebbe principio la serie delle maestose oscillazioni che duravano ciascuna circa 8 secondi. Il piano delle oscillazioni non tenne la posizione sua rispetto ai corpi circonvicini, ma parve girare poco a poco intorno alla verticale, appunto come la teorica aveva predetto che deve parere quando la terra non sia immobile ma si rivolga da occidente ad oriente in sulla linea dei poli.

Fig. 219.

Per mettere in evidenza codesto moto del piano di oscillazione si applicò sotto la sfera, nel prolungamento del filo, un'appendice acuminata, e si disposero sul suolo due mucchietti prismatici triangolari di fina sabbia (*a, a* fig. 219), in direzione perpendicolare al piano di oscillazione, cosicchè la punta dell'appendice nel suo moto avesse a solcarli. Si vide presto la punta non passare più pel solco fatto nei due mucchi alla prima oscillazione, ma allargare il solco mano mano, in questo mucchio da una parte in quello dall'altra, mostrando così che il piano di oscillazione girava.

L'esperienza di Foucault fu ripetuta in Italia, in Germania, in Inghilterra, e dappertutto ebbe l'esito che il calcolo aveva prenunciato. Il piano di oscillazione, parendo moversi in tutti i luoghi intorno alla verticale condotta pel punto di sospensione del pendolo con quelle differenze che sono competenti alle diverse latitudini, diede fede che in realtà la superficie terrestre si aggira di sotto (1).

312. *Giroscopio di Foucault.* Il piano di oscillazione del pendolo di Foucault non è immutabile in senso assoluto se non ai poli, prescindendo per ora da altro moto che abbia la terra oltre quello di rotazione; in ogni altro luogo è immutabile solo relativamente alla verticale, la cui direzione si cangia pur di

(1) Il Cav. Antinori trovò che gli Accademici del Cimento avevano osservato la rotazione del piano del pendolo. In un autografo di Vincenzo Viviani, che fu uno dei segretari dell'Accademia, è scritto: « Osservammo che tutti i pendoli da un sol filo deviano dal primo verticale e sempre per il medesimo verso, cioè secondo le linee . . . . da destra verso sinistra delle parti anteriori ». Perchè quei padri della scienza sperimentale non pubblicarono questa osservazione, ma ne fecero solo un piccol segno nei *Saggi di naturali esperienze?* (pag. 20, edizione del 1841). Forse non vedevano ben chiara la ragione del fenomeno, e forse la vedevano troppo chiara, ma essendo fresca la memoria delle traversie patite da Galileo, non stimarono che fosse prudente il parlarne aperto.

Nelle esperienze diligentissime col pendolo di Foucault si è notato che la serie delle oscillazioni non si effettua tutta in un piano, ma piega a fare nel complesso un moto conico di base ovata, il grande asse della quale sta nel piano che si dice delle oscillazioni, e meglio si direbbe delle oscillazioni medie. Probabilmente le azioni laterali che inducono questo moto dipendono, 1.° dalla rotazione verso oriente che il sistema del pendolo ha insieme con la terra, la quale rotazione è un po' minore nella sfera che nel punto di sospensione, donde viene che quando la sfera è lasciata libera e prende a moversi per la gravità che la tira a discendere, accoglie in sè anche l'effetto di codesta differenza e lo rende poi sensibile; 2.° dalla forza centrifuga in cui v'è una componente orizzontale, diretta nel nostro emisfero dal nord al sud.

La diversione effettiva, dalla quale risulta il moto conico, viene prodotta dalla differenza tra gli impulsi iniziali che riceve la sfera e quelli che riceve il punto di sospensione; la quale differenza può essere positiva, nulla, o negativa secondo l'orientazione dell'arco in cui il pendolo fa la prima gita.

Di qui forse la spiegazione di alcuni fatti; per esempio, di quello notato dal Cav. Carlini, che il moto oscillatorio, nel corso di una medesima esperienza, da piano diventò conico, poi ancora piano, indi conico di nuovo ma in modo che allora le oscillazioni percorrevano il cono in direzione contraria a quella del periodo conico anteriore; e dell'altro fatto presagito dal generale Dufour (*Bibl. Univ.* 1851, Juin. pag. 132), e poi verificato dai professori Wartmann e Marignac, che l'apparente rotazione del piano delle oscillazioni non è esattamente uniforme (*Bibl. Univ.*, Juillet, pag. 198).

Il moto annuo della terra, la resistenza dell'aria, l'elasticità irregolare del filo, possono e devono recare nei moti del pendolo alcune piccole anomalie che sommandosi nella serie delle oscillazioni diventino poi sensibili.

continuo nello spazio. Alcuni, per avere negletto questo avviso, non si fecero sulle prime una giusta idea del fenomeno, e non riconobbero il valore e la normale uniformità della deviazione del piano. Ma fu buona ventura, perchè l'ingegno di Foucault si volse alla ricerca di un piano sensibile, la cui direzione si tenesse immutata in senso assoluto nello spazio, e dal quale si avessero nuovi segni della rotazione del globo. E lo rinvenne, e lo compose presto in un bell'apparecchio a cui diede il nome di *giroscopio.*

Se un corpo solido, simmetrico intorno ad un asse, e liberamente sospeso per il suo centro di gravità, riceve un moto di rotazione intorno a quest'asse, continua a girare tenendosi ognora nella posizione del primo giro, quando nessuna forza intervenga ad alterare il moto che ha ricevuto. L'inerzia del corpo fa che il piano della rotazione non declini per nessun verso, e però conserva insieme coll'asse la direzione sua primitiva. Ecco nel piano della rotazione un piano sensibile che ha una direzione definita, assolutamente fissa nello spazio; ed ecco nell'asse una retta che tiene la medesima proprietà. Il moto che hanno per avventura i corpi circostanti si può riconoscere dalle mutazioni ch'essi mostrano, sia rispetto al piano sia rispetto all'asse. Quando il moto fosse comune a tutti i corpi all'ingiro ed insieme all'osservatore, si vien presi dalla illusione che i corpi non si movano, e che invece si movano per l'altro verso il piano e l'asse. Ora se la terra è ferma, non si vedrà nessun moto dell'asse in riguardo agli altri corpi terrestri, ma se la terra gira intorno alla linea dei poli da occidente ad oriente, l'osservatore, che gira con la terra, vedrà un moto dell'asse, come se questo si volga nel verso contrario al moto di rotazione della terra, cioè nel verso del moto diurno della sfera celeste. In un solo caso l'asse di rotazione del corpo deve parere immobile, ed è quando abbia la direzione medesima della linea dei poli che è l'asse del mondo.

Tradurre il concetto in un apparecchio era opera piena di difficoltà. Il corpo girevole dev'essere come libero dalla terra; giova che sia sospeso per modo che si possa recarlo in ogni giacitura, e così mettere l'asse in quella direzione che meglio si vuole; è duopo che la gravità non influisca per nulla a turbare il movimento. Nel giroscopio di Foucault ogni cosa è adempiuta.

Il corpo girevole è un disco di bronzo (*aa*, fig. 220 e 221), munito di un asse (*bb*) che lo attraversa nel centro in dire-

zione perpendicolare alle due facce. Il disco ha in sulla circonferenza un ingrossamento cilindrico massiccio; così la maggior parte della materia del corpo si trova a molta distanza

Fig 221.

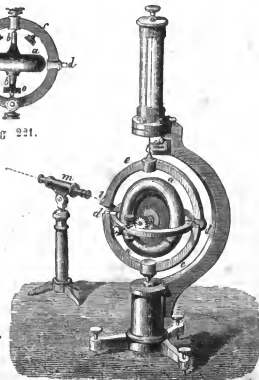



Fig. 220.

dal centro, onde nel moto di rotazione l'inerzia conservatrice è poderosa. L'asse (*bb*) viene sostenuto ai due capi da due perni intorno ai quali può liberamente girare, portati da un anello (*cc*) in cui essi corrispondono alle due estremità di un diametro. Alle due estremità del diametro perpendicolare a questo dove è l'asse del disco, l'anello (*cc*) mette fuori dalla superficie esterna due appendici (*d,d*) foggiate a tagliente come quelle parti ultime dell'asse d'una bilancia che son ricevute dalla trùtina. Le due appendici posano il tagliente in due seni orizzontali che sono diametralmente opposti in un secondo anello verticale (*ee*, fig. 220); e questo secondo anello è so-

speso a un filo senza torsione, piuttosto lungo, che gli permette di girare con facilità intorno alla verticale. Per impedire poi che il secondo anello (*ee*), con tutto ciò ch'esso regge, abbia, per ogni menomo impulso di fianco, ad oscillare come un pendolo, vi è fissato al basso un cono rovescio la cui punta s'immette in un foro del sostegno dentro il quale si rivolge alla libera senza attrito.

In questo apparecchio l'asse (*bb*) del corpo girevole si può disporre in qualunque direzione torni opportuno. E invero, facendo girare il secondo anello (*ee*) intorno al filo di sospensione, si può condurre quell'asse in un piano verticale qualsiasi; e facendo girare il primo anello (*cc*) intorno alle appendici sue (*d,d*), si può dare a quell'asse l'inclinazione che si vuole. Il giroscopio costruito dal meccanico Froment è lavoro perfetto: il centro di gravità del disco girevole (*aa*) cade appunto in sull'asse di sua rotazione; il centro di gravità del primo anello (*cc*), quand'esso porta il disco, cade appunto sulla linea (*dd*) delle due appendici: così la gravità non può nulla, nè sul moto rotatorio del disco intorno al proprio asse, nè sulla inclinazione che abbia coll'orizzonte il piano del primo anello, che è pur quella dell'asse del disco.

Ecco in che modo si fa l'esperimento. Si toglie dall'apparecchio il primo anello col disco imperniatovi (cioè la parte rappresentata dalla fig. 221), e lo si colloca in una macchina apposita che, ingranando una ruota dentata (*o*) ond'è munito l'asse del disco, serve ad imprimere al disco una rotazione rapidissima. Messo in movimento il disco, lo si restituisce col suo anello all'apparecchio, disponendolo coll'asse (*bb*) orizzontale (fig. 220). In tale posizione l'asse fa un angolo con la linea dei poli, e però se la terra si move per una mano, dee parere ch'esso movasi per l'altra mano intorno a questa linea. E lo si vede moversi proprio così, e sempre con la velocità prenunciata dal calcolo, sia che il disco ruoti in un verso, sia che ruoti nell'altro.

Ma v'è una più comoda maniera di osservare. Il moto apparente dell'asse non può avvenire se non in quanto il primo anello (*cc*) giri lento lento in sulle appendici sue che posano dentro i seni del secondo anello verticale (*ee*), e in pari tempo il secondo anello giri intorno al filo da cui dipende. Ora quest'ultimo molo si può osservare con un microscopio (*m*) posto allato dell'apparecchio rivolto ad una piastrina graduata (*i*) che sia fissa nel dorso dell'anello (*ee*); si vedono gradi della piastrina

passare l'un dopo l'altro per l'asse del microscopio, non altrimenti che le stelle per l'asse di un cannocchiale meridiano (§ 253). Qui la prova della rotazione del globo non è data dal moto di un piano ideale, com'è il piano della trajettoria di un pendolo, ma è data dal moto di corpi reali, in un congegno dove alcune parti sono veramente immuni, quanto alla loro giacitura nello spazio, dalla vertigine diurna del globo (1).

315. *Vero concetto di alcune immagini relative al moto diurno degli astri.* Al cospetto di queste ragioni (§ 309) e di questi fatti (§§ 310, 311, 312) il moto rotatorio della terra si tiene adesso in conto di verità, e il moto diurno degli astri si ha per una apparenza che nasce dal moto inverso dell'osservatore menato in giro dalla terra intorno alla linea dei poli. Ma nondimeno si usa parlare tuttavia del moto diurno delle stelle e del sole come d'un moto reale, e dire, per esempio, che il sole od una stella sorge, passa pel meridiano, tramonta.

(1) Foucault seppe ottenere dal giroscopio altri segni del moto rotatorio della terra, dipendenti da altri principii: nuovo argomento di quel moto. La Meccanica dimostra che quando un corpo girante intorno a un asse principale è sospeso pel suo centro di gravità, non in guisa che sia libero di moversi per ogni verso, nel qual caso porge i fenomeni accennati nel testo, ma in guisa che il suo asse di rotazione possa girare solamente in un piano intorno a un asse fisso congiunto colla terra, allora il moto rotatorio della terra, se veramente esiste, deve indurre nel corpo girante una piccola componente che guida l'asse del corpo nella direzione più prossima possibile a quella dell'asse della terra, e di tal maniera che le due rotazioni, del corpo cioè e della terra, vadano pel medesimo verso. Gli esperimenti rispondono con prontezza mirabile, attestando che la terra si move intorno alla linea dei poli da occidente ad oriente.

1.° Il disco girante abbia sul principio l'asse disposto orizzontalmente da est ad ovest, e sia libero di rivolgersi non altro che intorno alla verticale, cosicchè l'asse del disco abbia a rimanere sempre orizzontale. Si vede subito il disco girare a poco a poco, e per una serie di oscillazioni condurre l'asse in equilibrio stabile nel meridiano, e in tale direzione che la rotazione del disco vada nel medesimo verso che quella del globo. Così la rotazione di un corpo alla superficie della terra basta a trovare il piano del meridiano, senza che sia duopo di alcuna osservazione astronomica.

2.° Noto il piano del meridiano, vi si metta l'asse del disco girante, per modo ch'e' sia libero di moversi in quello senza escirne, cioè possa inclinarsi come un cannocchiale meridiano intorno a una retta orizzontale perpendicolare al meridiano. L'asse abbia sul principio la direzione orizzontale; subito lo si vede inclinarsi grado grado e costituirsi parallelo all'asse della terra, e sempre di tal guisa che la rotazione del disco sia nel verso di quella del globo. Se in un'altra prova si dà al disco un moto di rotazione contrario al primo, l'inclinazione dell'asse prende a farsi per l'opposto verso, e l'asse continua il giro finchè si trova parallelo alla linea dei poli, ond'è ancora adempiuta la condizione che il moto rotatorio del disco sia diretto come quel della terra.

Nelle due esperienze l'asse del disco si comporta come l'ago calamitato nella bussola di declinazione e nella bussola d'inclinazione. (*Comptes rendus de l'Ac. des sciences*, 27 sept. 1852, pag. 424).

Questi modi giova conservarli perchè offrono le immagini con velocità e chiarezza, essendo in accordo con la rappresentazione diretta che i nostri sensi ci porgono dei fenomeni; e d'altra parte non possono nuocere alla verità, quando è bene inteso che si riferiscono alle apparenze.

L'avvicendarsi del giorno e della notte ha dunque per sua cagione vera il moto rotatorio della terra.

La lunghezza del giorno sidereo è il tempo che la terra consuma a fare tutta una girata sul proprio asse.

L'asse del mondo e l'equatore celeste non hanno esistenza reale nel cielo al di fuori della terra, non sono che l'asse e l'equatore della terra estesi visualmente attraverso le regioni delle stelle.

314. *Moto annuo della terra.* Il moto annuo del sole intorno alla terra non potrebbe anch'esso, come il moto diurno della sfera, essere un'apparenza dipendente da un altro moto che fa la terra oltre quello di rotazione? I due moti non sono incompossibili; anzi abbiamo innumerevoli esempi della esistenza simultanea di due moti nello stesso corpo, l'uno di rotazione, l'altro di traslazione. Una pietra lanciata gira sopra di sè, mentre che passa da luogo a luogo nello spazio. La terra, come corpo libero ch'ella è, può ben moversi e di quella e di questa guisa insieme.

E quale dovrebbe essere il moto della terra da luogo a luogo nello spazio per indurre l'apparenza del moto che vediamo del sole? Dovrebbe essere uguale punto per punto a questo moto apparente del sole. In mezzo ad una camera vi sia all'altezza degli occhi nostri un lume: se noi, tenendo lo sguardo rivolto sempre al lume, facciamo un giro intorno ad esso, ci toccherà di vedere il sito del lume successivamente nella direzione in cui vediamo i diversi luoghi della camera; di vederlo ora sul prospetto della porta, ora sul prospetto d'una finestra, e via via per tutto l'ambito delle pareti, non altrimenti che se noi stessimo fermi e il lume fosse portato in giro a noi con le medesime leggi del nostro movimento. Esciamo sul gran teatro dell'universo. Il lume è il sole, le pareti della camera, con le loro varietà di porte, di finestre, sono la sfera celeste con le sue diverse costellazioni. La vastità della scena non muta le ragioni della prospettiva. Se il sole è fisso, e questo punto che ci regge, ed è detto la terra, va in giro intorno al sole con le leggi di movimento che abbiamo notate nel sole, la mutazione degli aspetti sarà pur tut-

tavia tale e quale la vediamo; noi vedremo il sole successivamente nella direzione delle diverse costellazioni, e non avendo coscienza del moto che ci porta, perchè le cose terrestri che ci stanno d'intorno si movono tutte in uno con noi, ci parrà che il sole sia quello che si move all'ingiro della terra.

Le osservazioni dimostrano che, supposto la terra immobile, il sole descrive nel piano dell'eclittica e con un certo ordine di velocità un'elisse in un fuoco della quale si trova la terra. Dunque perchè le apparenze, supposto fermo il sole, siano puntualmente le stesse, è mestieri che la terra descriva in codesto piano dell' eclittica e col medesimo ordine di velocità, un'elisse in un fuoco della quale si trovi il sole (1).

(1) Sia SS′S″S‴ (fig. 222) l' elisse che vediamo essere percorsa dal sole

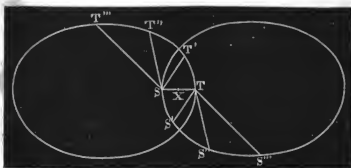



Fig. 222.

intorno alla terra T. Tirata la porzione TS dell'asse maggiore, e segnato il suo punto medio X, si rivolga di un mezzo giro intorno a questo punto l'elisse dentro il proprio piano. Il punto T viene in S, il punto S in T, e l'elisse prende la posizione TT′T″T‴. L'elisse in tale posizione è proprio quella che la terra T deve descrivere intorno al sole immobile in S, affinchè le apparenze si succedano alla stessa guisa. Infatti quando il sole va da S in S′, la direzione su cui lo vediamo si muta da TS a TS′, e nel caso che il sole stia fermo, ed invece la terra si porti da T a T′ passando un arco TT′ eguale ad SS′, la direzione su cui vediamo il sole si muta propriamente d'una stessa quantità angolare, perchè la retta T′S è parallela a TS′. Inoltre quando il sole va da S in S′ la distanza sua dalla terra diventa TS′, e quando invece sia la terra che si move da T in T′, mentre il sole stà fermo in S, la distanza fra i due corpi diventa T′S, che è appunto eguale a TS′. Dunque, o che il sole passi di seguito gli archi SS′, S′S″, S″S‴ e la terra stia ferma in T, o che la terra passi nei medesimi tempi successivi gli archi TT′, T′T″, T″T‴ uguali per ordine ai suddetti e il sole stia fermo in S, in ambedue i casi la direzione in cui si vede il sole e la distanza tra il sole e la terra vengono a cangiare precisamente alla stessa maniera.

Vediamo se delle due supposizioni è più probabile quella che tiene immobile la terra, o quella che tiene immobile il sole.

1.° La grandezza del sole al paragone della terra (fig. 208 a pag. 178) fa ben più probabile il moto della terra intorno al sole che non l'altro moto.

2.° Le ineguaglianze periodiche degli eclissi dei satelliti di Giove (§ 143) non avrebbero spiegazione se la terra non si traslocasse nello spazio.

3.° Anche l'aberrazione della luce o delle stelle fisse (§ 143) riceve naturalissima spiegazione dal moto della terra intorno al sole, e, tolto questo moto, rimane inesplicata. Per comprendere tutto il valore di tale argomento vuolsi considerare che l'aberrazione non è un fenomeno di aspetto uniforme; l'aspetto suo varia con legge nelle diverse parti del cielo. Le stelle situate nel piano dell'eclittica si vedono descrivere in un anno delle piccole rette; le stelle elevate di circa 90° su questo piano descrivere una elisse a piccola eccentricità; e le altre descrivere elissi ugualmente lunghe ma di eccentricità più grande, secondo che sono più basse verso questo piano dell'eclittica dove l'elisse viene, per così dire, a chiudersi in una retta. Or bene, il moto annuo della terra combinato col moto della luce, dà ragione di tutte le varietà del fenomeno; e la ragione risponde in giusta misura alla velocità che aver deve la terra nel moto annuo, ed alla velocità della luce, già prima calcolata con osservazioni celesti d'altro genere, e in seguito riconosciuta anche per esperienze terrestri.

4.° La parallasse annua che si potè misurare in alcune stelle fisse meno lontane da noi (§ 262) è pure una prova che la terra descrive un' orbita nel corso di un anno.

Di queste ragioni possiamo già intendere tutta la concludenza, ma ve n' ha delle altre che stringono ancora più l' intelletto ad ammettere l'annua conversione del globo, e qui le registro sebbene la loro forza ci sarà manifesta solo inseguito.

5.° Il moto annuo della terra si accomoda con mirabile agevolezza e semplicità a render ragione di tutte le varietà che si osservano nei movimenti dei pianeti.

6.° Le leggi con che deve farsi il moto della terra intorno al sole, per dare conto esatto delle particolarità dei fenomeni celesti, sono quelle medesime che si riscontrano nei moti di tutti i pianeti pur intorno al sole. Così la terra, che si assomiglia ai pianeti nelle altre qualità, conviene con essi anche in questa del moversi; e la terra e i pianeti compongono un sistema che in ogni parte è ammirabile per l'unità del disegno.

7.° Le ragioni meccaniche dei moti sì della terra come dei pianeti dimostrano che il sole è il corpo centrale intorno a cui conviene che si aggiri la terra al pari di tutti i pianeti.

Il grande valore dei tre ultimi argomenti non può essere apprezzato intero se non dopo conosciute le leggi dei moti dei pianeti, e la definizione che Newton ne trasse di una forza che vige in tutta quanta la natura. Noi ci metteremo subito nello studio di queste bellissime parti della scienza, ma prima notiamo alcune altre qualità del moto della terra, e vediamo anche le forme reali che per questo moto vengono a sostituirsi alle forme apparenti di alcuni fenomeni.

315. *Costanza della direzione dell' asse terrestre nel corso dell'anno.* Poichè la terra, mentre ruota sopra sè medesima, si trasferisce da luogo a luogo nello spazio, è chiaro che l'asse della rotazione si trasferisce anch' esso da uno ad altro luogo. Ma siccome vediamo che quest' asse e il piano dell' equatore celeste che gli è perpendicolare conservano per tutto il corso dell'anno la medesima posizione verso la sfera altissima delle stelle, bisogna dire che l' asse e il piano dell' equatore non cangiano direzione nello spazio, cioè che l'asse della rotazione della terra nel passare da un luogo ad un altro si tiene durante l'anno sempre parallelo a sè medesimo.

Di qui conseguita che quelle mutazioni annue dell' altezza del sole in un certo luogo della superficie terrestre, le quali sembrano succedersi per il moto del sole intorno alla terra immobile, devono succedersi eguali per il moto della terra intorno al sole fisso. Diffatti esse dipendono dalla disposizione dell'asse e dell' equatore verso il luminare, e se l' asse, nella terra che si move, rimane sempre parallelo a sè, la disposizione dell'asse e dell' equatore verso il luminare non si muta. Dunque le diversità nella lunghezza dei giorni e delle notti (§ 279), la costituzione delle stagioni (§ 283) in ogni luogo, le differenze di temperatura nelle zone terrestri (§ 284), sono spiegate così bene dal moto annuo della terra come sarebbero dal moto annuo del sole.

L'eclittica o l'orbita apparente del sole è in realtà l'orbita della terra in un fuoco della quale sta il sole. Quando vediamo il sole in un segno dell' eclittica, gli è che la terra si trova nel segno diametralmente opposto (fig. 223); così il sole si vede entrare nel segno di Ariete quando la terra entra nel segno di Libra, e passare nel segno di Toro quando la terra passa nel segno di Scorpione, e va discorrendo.

I due apsidi dell'orbita solare (§ 275) sono invero gli apsidi

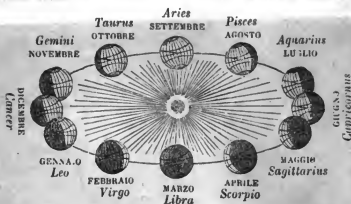



Fig. 223.

dell'orbita terrestre, e da ciò prendono anche diverso nome; il perigeo si dice *perielio* (περὶ presso, ἥλιος sole), l'apogeo si dice *afelio* (ἀπὸ lontano).

316. *Moti conici dell' asse terrestre*. Egli è vero che l'asse della terra si mantiene sensibilmente parallelo a sè stesso nella durata di un anno, ma in un lungo spazio di tempo apparisce un cangiamento nella sua direzione. Il moto retrogrado dei punti equinoziali, ossia il fenomeno della precessione degli equinozi (§ 274), mostra che l' asse della terra ha un movimento simile a quello che si vede soventi nell'asse di una trottola. Quando l' asse di figura (AB, fig. 224) della trottola prende una posizione obbliqua rispetto alla verticale (AC) che passa per il suo punto d'appoggio (A) sul suolo, avviene che, mentre la trottola si rigira intorno all'asse, questo pure si move girando intorno alla verticale, senza mutare talvolta la obbliquità sua rispetto alla medesima; l'asse della trottola descrive così

Fig. 224.

un cono (BAB') il cui asse è la verticale (AC). Non altrimenti fa l'asse di rotazione (PQ, fig. 225) della terra (T); esso gira

intorno alla perpendicolare (TK) al piano dell' eclittica (MN), descrivendo un cono (Ppp'...), e tenendosi ognora inclinato

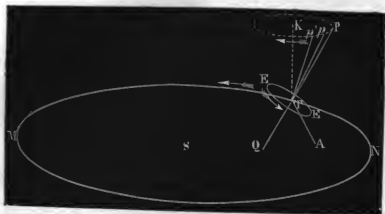



Fig. 225.

a quella perpendicolare di 23°, 28'; perciò anche il piano dell'equatore (EE), condotto per il centro della terra perpendicolarmente a codesto asse, gira di conserva con lui, onde la linea degli equinozi (TA), che è l' intersezione del piano dell'equatore (EE) e del piano dell'eclittica (MN), gira anch'essa. Tale moto conico dell' asse è lentissimo; abbiamo veduto (§ 274) che un punto equinoziale si trasloca nell' eclittica di solo 1°, 24' al secolo: si può dunque ammettere, come di sopra, che dentro la durata di un anno l'asse della terra si mantenga sempre parallelo a sè medesimo.

Ma nel volgere dei secoli devono prodursi per codesto moto dei cangiamenti notabili nel sito dell' equatore e dei poli rispetto alle stelle. Il polo nord del cielo deve descrivere un cerchio (Ppp'..) d'un raggio di 23°, 28', e passare così per diverse costellazioni. La stella polare, che ha nome dal luogo dove si trova prossimo al polo boreale, non fu sempre tanto prossima a quel polo. Da secoli il polo si va avvicinando ad essa; ora la distanza è circa un grado e mezzo, e diminuirà fino all'anno 2120 dell'Era nostra; allora non sarà che mezzo grado; e in seguito il polo si scosterà dalla stella, e dopo altri 13000 anni ne sarà lontano 47°. La stella perderà ben prima il nome di polare, che toccherà successivamente ad altre stelle.

L' asse della terra, oltre il moto conico accennato, patisce

certe piccole oscillazioni all'ingiro della sua posizione media, per le quali descrive, in circa 18 anni e $^2/_3$, un altro piccolo cono a base elittica; l'asse maggiore della base è 19",3, il minore 14",4. Questo moto si dice *nutazione dell'asse terrestre;* fu scoperto da Bradley, osservando che alcune stelle fisse, nel periodo suddetto di tempo, pare si facciano ora più vicine al polo celeste, ora più lontane.

517, *Sistema di Copernico.* Le idee della Scuola Pitagorica sulla struttura dell'universo avevano già nel secolo XV molti fautori in Italia, tra i quali il famoso cardinale Nicolò Cusano (1). Furono poi restaurate ed ampliate da Copernico nel 1540.

Copernico non si apprese a quelle idee così di primo tratto, ma vi fu condotto passo passo dalle modificazioni ch'egli faceva al sistema di Tolomeo per dare semplicità ai movimenti dei pianeti. Egli vedendo che a spiegare le stazioni e i regressi di Venere e di Mercurio nel sistema di Tolomeo, non è mestieri che l'epiciclo e il deferente abbiano una grandezza assegnata, ma che si può ingrandire i due cerchi quanto si vuole (§ 308), gli allargò fino a recare il centro degli epicicli nel sole; poi ravvisò potersi ammettere che anche Marte, Giove, Saturno girino intorno a questo luminare, il quale porti con seco le orbite loro nel suo moto annuo intorno alla terra. In seguito conobbe che, quando fosse vero che la terra fa un giro intorno al sole nel tempo di un anno, certe esorbitanze del corso dei pianeti verrebbero tolte via, e non sarebbero più se non effetti di prospettiva. Tutti i pianeti girerebbero accerchiando il sole immoto, e girerebbe con essi anche la terra fatta un pianeta. La semplicità di questa costituzione, pur bene accomodata alle apparenze, lo vinse. Infine gli parve che il pregio della agevolezza fosse tale un segno di verità che non si dovesse più dubitare moversi la terra intorno all'asse e non la sfera stellata. In questa maniera il sistema di Copernico fu compiuto.

Le distanze dei diversi pianeti dal sole, che nel sistema di Tolomeo rimanevano indeterminate, in quello di Copernico vengono ad essere definite con esattezza dalle particolarità dei moti apparenti di essi. Presa come unità la distanza della terra dal sole, si trova che Mercurio, per soddisfare alle apparenze del suo moto, deve essere distante dal sole 0,39, Venere 0,72,

(1) *De docta ignorantia.* Cap. 11 e 12.

Marte 1,52, Giove 5,20, Saturno 9,54. La terra, considerata come un sesto pianeta, prende luogo tra Venere e Marte, giacchè il raggio dell'orbita sua è 1.

La luna presentava nel sistema di Copernico a quei tempi una singolarità. Siccome le osservazioni dicono ch'essa circola intorno alla terra, così nell'ammettere che la terra si rivolge intorno al sole si deve pur ammettere che questa si porta seco nel suo moto annuo l'orbita della luna. Tale singolarità del moversi di conserva due corpi cosmici oscurava un poco la uniforme semplicità che risplende in tutto il resto del sistema di Copernico; ma la scoperta delle quattro lune che girano intorno al pianeta Giove e lo accompagnano tuttavia nel suo cammino intorno al sole, cessò ben presto la stranezza apparente del moto della nostra luna, mettendovi a riscontro un fatto somigliante accertato dalle osservazioni.

Il sistema di Copernico è rappresentato nella figura 226. Il Sole S sta nel centro delle conversioni di tutti i pianeti. Questi, compresa la Terra, girano intorno al Sole, tutti per il medesimo verso, e le orbite loro, *m* di Mercurio, V di Venere, T della Terra, M di Marte, G di Giove, S di Saturno, giacciono press'a poco in uno stesso piano. Nella figura i raggi delle diverse orbite hanno lunghezze proporzionali alle distanze dei pianeti rispettivi dal Sole. Le orbite di Giove e di Saturno sono disegnate solo in parte perchè la scala adottata non permette di compierle sulla pagina. L'orbita della Luna L circa la Terra è molto ingrandita perchè sia visibile; in giusta proporzione l'intervallo TL tra la Terra e la Luna non dovrebbe essere che $1/400$ dell'intervallo TS tra la Terra e il Sole. La Luna, mentre gira intorno alla Terra, accompagna questa nel viaggio annuo intorno al Sole. La Terra poi in tale viaggio va roteando su di un proprio asse, e così crea per noi l'apparenza del moto diurno dei cieli.

Le cose già vedute contengono prove irrepugnabili del sistema copernicano. Tali sono il moto annuo (§ 314) e la rotazione diurna (§ 309-312) della Terra, e le fasi di Venere e di Mercurio, le quali attestano che i due pianeti accerchiano in loro carriera il Sole (§ 304). Ma in progresso ammireremo come nella struttura qui disegnata dell'universo i calcoli confrontano tutti bene insieme, « come bene una verità si accorda con l'altra, e tutte cospirano a rendersi inespugnabili » (1).

(1) Galileo. *Dialogo intorno ai due massimi sistemi*, pag. 142.

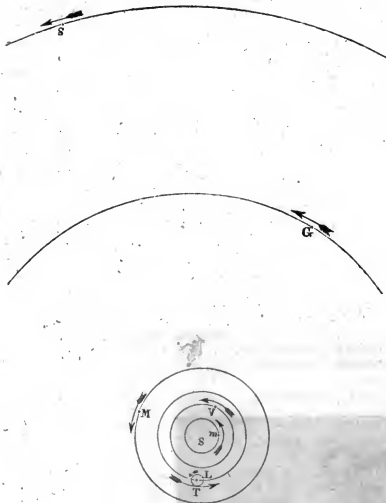



Fig. 226.

Nel sistema di Copernico i pianeti Mercurio e Venere più prossimi al sole che non la terra, si dicono pianeti *inferiori*, gli altri più lontani dal sole che non la terra si dicono *superiori*.

318. *Leggi di Keplero*. Keplero, con laboriosi calcoli sul tesoro delle osservazioni planetarie che Ticone Brahe morendo

gli aveva affidato, scoperse tre leggi capitali che si appellano dal suo nome. Già il sistema di Copernico induceva a considerare i moti dei pianeti quali apparirebbero a chi li osservasse dal sole; già era chiaro che da quel luogo i moti cessano le tante anomalie che offrono veduti dalla terra. Keplero diresse le ricerche nel giusto modo confacente all'indole dei fenomeni. Si tratta di corpi che si movono intorno al sole, dal quale sono distanti per intervalli diversi. Era dunque da vedere in primo luogo di che specie è l'orbita per cui i pianeti si aggirano; in secondo luogo con che velocità i pianeti la percorrono; in terzo luogo quale relazione per avventura vi sia tra queste velocità dei diversi pianeti e le loro distanze dal sole. Le tre leggi scoperte definiscono appunto per ordine queste tre condizioni.

1.° La prima legge dice che *ciascun pianeta percorre una elisse in un fuoco della quale sta il sole.* Le orbite dei diversi pianeti sono dunque diverse elissi che hanno un comun fuoco nel nostro luminare. Questa legge fu trovata calcolando le distanze che ha Marte dal sole in varii punti dell'orbita sua, e poi fu estesa per analogia agli altri pianeti, compresa la terra, e verificata per tutti. Il punto dell'elisse più vicino al sole si chiama *perielio,* l'altro punto più lontano si chiama *afelio* (§ 315). Le elissi in cui si movono i pianeti hanno piccola eccentricità, cioè sono molto prossime alla figura circolare. La direzione del moto nell'elissi è da ponente a levante per tutti i pianeti.

2.° La seconda legge si esprime così: *le aree descritte dal raggio vettore sono proporzionali ai tempi impiegati nel descriverle.* Per intendere questa legge bisogna sapere che si chiama raggio vettore la retta (SP, SP'... fig. 227) che va dal sole (S) situato nel fuoco dell'elisse al punto (P,P'...) in cui si trova il pianeta che percorre questa curva. Ora se si immagina che il pianeta faccia movere con

Fig. 227.

sè il raggio vettore, la lunghezza del quale sia variabile perchè termini sempre sulla curva, e che il raggio vettore nel suo

moto lasci traccia di sè, la legge significa che l'area così tracciata dal raggio vettore, mentre il pianeta va da un luogo ad un altro qualunque, è proporzionale al tempo che il pianeta impiega nell'andare dall'uno all'altro luogo. Così, partito il raggio vettore da una data posizione (SP), codest'area va crescendo nella proporzione diretta semplice del tempo (Se t è il tempo che il pianeta passa nell'arco PP' e t' quello che passa nell'arco P'P'' è : PSP' : PSP'' $= t : t+t'$; se t'' è il tempo che il pianeta passa nell'arco P'''P'''' è : PSP' : P'''SP'''' $= t : t''$). Per questa legge è chiaro che il pianeta non va di moto uniforme nell'orbita sua, ma che guardandolo dal sole si vedrebbe moversi tanto più lento quanto più fosse lontano, e le velocità angolari sarebbero in ragione reciproca duplicata delle distanze.

3.° Ecco la terza legge: *i quadrati dei tempi che i diversi pianeti impiegano a percorrere le proprie orbite stanno fra loro come i cubi dei grandi assi di queste.* Così i pianeti che hanno le orbite più estese, cioè che sono più distanti dal sole, spendono maggior tempo a fare l'intero lor giro, e non semplicemente in ragione della maggiore estensione dell'orbita, bensì in una ragione più grande, atteso una maggiore lentezza nel moversi.

I satelliti nei loro movimenti intorno al proprio pianeta osservano anch'essi le medesime tre leggi che i pianeti intorno al sole. Non tutti però i satelliti vanno per l'orbita da ponente a levante, quelli di Urano (§ 307) vanno in direzione contraria.

Trentadue anni costò la ricerca di queste leggi, trentadue anni d'una vita povera fino alla miseria. Bisogna leggere nelle opere di Keplero l'ansia, le molte vie tentate, le speranze cadute ma subito in nuova foggia risorte, i tormenti e le esaltazioni dello spirito, e per dire una parola sua, l'insania. Ma che sono trentadue anni di fatica, esclama l'Arago, per l'uomo che ne uscirà poi legislatore dei mondi e scriverà il proprio nome a caratteri indelebili sul frontispizio di un codice immortale? e potrà dire, come Keplero, in lirico linguaggio: « eccoci al punto; io scrivo il mio libro; lo legga poi l'età presente o lo legga la posterità, che mi fa questo a me? esso potrà ben aspettare il lettore; e Dio non ha aspettato sei mila anni un contemplatore delle opere sue? »

Nel parlare del moto apparente del sole intorno alla terra ci occorse già di notare le prime due leggi, dicendo che l'orbita del sole è una elisse con un fuoco nella terra, e che il

prodotto del quadrato della distanza tra il sole e la terra per la velocità dell'astro ha un valore costante in ogni luogo del giro (§ 273), ciò che torna una cosa con la seconda legge di Keplero. Siccome poi abbiamo veduto che il moto del sole si traduce fedelmente nella realtà in un moto della terra intorno al sole (§ 314), così è chiaro che in questo moto della terra si riscontrano le due prime leggi di Keplero, come nel moto di tutti i pianeti; grande argomento a favore del sistema di Copernico. E la terra non solo adempie le prime due leggi nel suo moto al pari di ciascun altro pianeta preso per sè, ma considerata in confronto con gli altri pianeti adempie anche la terza legge, mettendosi pure in ciò nella medesima condizione di essi. Al cospetto di così piena concordanza chi non vorrà connumerare la terra fra i pianeti? Le tre leggi di Keplero sono il perfezionamento e insieme una stringentissima prova del sistema copernicano.

319. *Spiegazione delle stazioni e dei regressi dei pianeti.* Per la terza legge di Keplero il moto dei pianeti nelle orbite rispettive è tanto più lento quanto più la distanza loro dal sole è grande. Nella medesima lunghezza di tempo Venere fa meno cammino che Mercurio, e la Terra meno che Venere, Marte meno che la Terra, ecc. Di qui le apparenze delle stazioni e dei regressi dei pianeti.

Vediamo prima la cosa in un pianeta inferiore, per esempio in Venere. Suppongasi per semplicità che le orbite del pianeta e della terra siano circolari. Si immagini il pianeta alla congiunzione col sole, cioè (in V, fig. 228) posto linearmente tra il sole e la terra. Mentre la terra fa un certo cammino (TT') Venere che corre di più fa un cammino (VV') maggiore; ne viene che la nostra visuale all'astro non torna parallela alla visuale di prima, torna alquanto obbliqua ad essa; deve dunque parere a noi che l'astro siasi mosso (nella direzione della freccia) di moto retrogrado rispetto al moto apparente del sole. Si immagini il pianeta alla opposizione del sole (in V''); men-

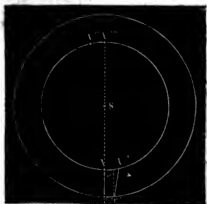



Fig. 228.

tre la terra fa il cammino suddetto (TT′), Venere fa un cammino maggiore (V″V‴), e la visuale all' astro piega (in direzione contraria alla freccia), onde pare che l'astro siasi mosso di moto diretto. Il pianeta dunque ha per noi ora un moto diretto ora un moto retrogrado; esso non può da quello passare a questo senza che la sua velocità apparente si riduca in qualche tempo a zero; allora l' astro par stazionario, ed è quando ha tale posizione che la retta condotta da esso alla terra si mantiene parallela a sè medesima, comecchè i due corpi ne vadano con diversa velocità.

Il pianeta sia superiore, per esempio Marte, e si trovi in opposizione col sole (in M, fig. 229). Mentre la terra (T) fa un certo

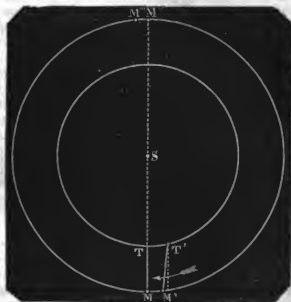



Fig. 229.

cammino (TT′) Marte fa un cammino più breve (MM′), e pare siasi mosso pel verso retrogrado (come segna la freccia). All'opposto, quando il pianeta è in congiunzione (in M″), il cammino che fa (M″M‴) più breve di quel della terra (TT′) ce lo dà a vedere dotato del moto diretto. L'astro pare stazionario quando la differenza di velocità dell' astro e della terra è compensata dalla differenza di obbliquità dei cammini rispetto alla

retta che congiunge i due corpi, onde questa retta dura per qualche tempo parallela a sè stessa.

I tempi delle stazioni e dei regressi, e le velocità del moto sì diretto come retrogrado rispondono precisamente a questa spiegazione per tutti i pianeti.

320. *Elementi dell'orbita di un pianeta.* Per designare la posizione che ha nello spazio un pianeta in un tempo qualunque è mestieri che si possa dire: 1.° in che luogo dell'orbita si trova il pianeta, 2.° come quest'orbita è situata nello spazio.

Il luogo che ha il pianeta nell'orbita si assegna con le leggi di Keplero e con la notizia del verso per cui il pianeta si move, quando sia noto l'*asse maggiore* dell'orbita, la *eccentricità* di questa, l'*istante in che il pianeta passò per un dato punto.*

Per individuare poi la situazione dell'orbita nello spazio bisogna sapere la posizione del piano in cui ella si trova e la giacitura ch'ella vi ha. Ora il piano dell'orbita deve intersecare quello dell'eclittica secondo una retta, la quale, come dissi per l'orbita lunare (§ 295), si chiama *linea dei nodi;* e poichè, per la prima legge di Keplero, il piano dell'orbita passa pel sole, così un punto di essa retta è il sole, e basterà conoscerne un altro perchè la posizione della retta sia nota. Si è convenuto che questo secondo punto sia uno dei punti d'intersezione dell'orbita col piano dell'eclittica, cioè uno dei nodi, e propriamente quello da cui il pianeta s'innalza sopra l'eclittica, il *nodo ascendente;* lo si designa per la sua *longitudine* (§ 275). Ma la posizione del piano dell'orbita non è ancora individuata, giacchè per una medesima linea di nodi possono passare infiniti piani; vuolsi pure conoscere l'angolo che il piano dell'orbita fa coll'eclittica, il qual'angolo si dice l'*inclinazione.*

Fissato così il piano dell'orbita, rimane a dire la giacitura che questa vi tiene; la si dinota per mezzo dell'angolo che il grand'asse dell'elisse fa con la linea dei nodi; si usa misurare tale angolo andando dal nodo ascendente verso il perielio, ed aggiungere alla misura la longitudine del nodo, e si enuncia la somma col titolo di *longitudine del perielio.*

Si chiamano *elementi* dell'orbita di un pianeta le quantità necessarie a designare la posizione del pianeta nel cielo in un tempo qualunque. Dal sin qui detto è chiaro che tali elementi sono sei: 1.° il grand'asse dell'elisse, 2.° l'eccentricità, 3.° l'istante in che il pianeta passò per un dato punto del-

l'clisse, 4.° la longitudine del nodo ascendente, 5.° l'inclinazione, 6.° la longitudine del perielio. Coi tre primi, aggiuntavi la notizia del verso per cui il pianeta si move, si può, servendosi delle leggi di Keplero, trovare il luogo del pianeta nell'orbita in un dato istante; coi tre ultimi si può definire la situazione dell'orbita nello spazio.

321. *Legge di Bode*. V'è una legge notevole fra le distanze dei diversi pianeti dal sole: fu avvertita da Lambert, e secondo altri da Titius, ma è detta *la legge di Bode* dal nome di questo astronomo che la ripropose nel 1778. Ecco qual'è: Si scriva la serie di numeri:

0, 3, 6, 12, 24, 48, 96

dove il primo è 0, il secondo 3, e ciascuno degli altri è il doppio del numero precedente. Si aggiunga 4 unità a ciascheduno di essi numeri; ne viene la serie:

4, 7, 10, 16, 28, 52, 100.

Questi numeri, trattone il 28, sono press'a poco proporzionali alle distanze dei pianeti dal sole; e invero, moltiplicando per 10 i valori di quelle distanze notate di sopra (§ 317) si ottiene:

Mercurio	Venere	Terra	Marte	....	Giove	Saturno
3,9	7,2	10	15,2		52,0	95,4

i quali numeri non sono molto diversi dai numeri trovati con la regola suddetta.

La legge di Bode serve a rinvenire per approssimazione le distanze dei diversi pianeti dal sole.

322. *Scoperta di altri pianeti*. Ai tempi di Copernico, di Galileo, di Keplero si conoscevano solo i sei pianeti qui nominati, compresa la terra. Herschel nel 13 marzo 1781 segnalò un astro a dimensioni sensibili che s'ingrandiva secondo la forza del telescopio. L'astro era già stato veduto in 19 diversi luoghi del cielo da Flamsteed, Bradley, Mayer, Lemonnier, ma ciascuno di questi aveva creduto che fosse una piccola stella, perchè il telescopio adoperato non era potente come quello di Herschel, e nessuno s'era messo ad osservare se l'astro si movesse. Herschel dapprincipio lo tenne per una co-

meta, ma poi verificò essere un pianeta che gira intorno al sole come gli altri pianeti senza mutare gran fatto la sua distanza dal sole e senza dilungarsi molto dal piano dell'eclittica. Gli pose nome *Urano*. La sua distanza dal sole è 19,18, presa per unità la distanza della terra dal sole; è dunque al di là di Saturno ed è rimoto dal sole quasi il doppio che Saturno. La legge di Bode conviene per approssimazione anche ad Urano, giacchè il numero ch'ella dà per il pianeta che vien dopo Saturno è 196, numero non molto maggiore di 191,8 che si ha moltiplicando per 10 la distanza di Urano dal sole.

Keplero nello scorgere come sia grande l'intervallo da Marte a Giove opinò che tra quei due astri esistesse un altro pianeta. Quando si vide la legge di Bode estendersi anche ad Urano, crebbe la fede nella continuità della legge, e quella opinione di Keplero sorse più viva che mai. Ventiquattro astronomi si associarono sotto la direzione di Schroëter per cercare il nuovo astro che a riempire la lacuna della legge doveva essere alla distanza 28 dal sole (§ 321); si divisero tra loro il cielo in zone da esplorare, ma non videro nulla. Il valtellinese Piazzi, astronomo a Palermo, si accorse nel 1.° gennajo 1800 che un piccolo astro aveva un movimento proprio; credette che fosse una cometa; lo seguitò fino agli 11 di febbrajo, ma poi ammalatosi cessò le osservazioni. Egli aveva notificato per lettere a Bode e ad Oriani due posizioni dell'astro, quella del 3 e quella del 23 gennajo, con l'avvertenza che dall'11 al 13 il moto in prima retrogrado era divenuto diretto. Le lettere giunsero due mesi dopo, quando l'astro andava già smarrito nella luce del sole; si doveva aspettare a rivederlo fino al mese di settembre che ne fosse uscito. I pochi dati non bastavano a calcolare l'orbita, ma Gauss potè con essi valutare per approssimazione la distanza dal sole, e questa collocava l'astro fra Marte e Giove. Nacque grande speranza che l'astro fosse il pianeta cercato. Piazzi allora comunicò il complesso delle sue osservazioni di 41 giorni, le quali si riferivano ad uno spazio di soli 3 gradi. Gauss con sì poche notizie assegnò il cammino dell'astro con tanto felice giustezza, che Zach ed Olbers poterono cogliere di nuovo quel corpicciuolo planetario ben lungi dal luogo di prima nel 31 dicembre e nel 1.° gennajo. Il nuovo pianeta si chiamò *Cerere*; la sua distanza dal sole è 2,77, presa per unità la distanza della terra dal sole; moltiplicata per 10, dà 27,7, numero vicinissimo a 28, come si voleva dalla legge di Bode.

La scoperta di Cerere inaugurò una serie di scoperte di altri pianetini che si movono tutti press' a poco alla medesima distanza dal sole. Questi, compresa Cerere, si chiamano *asteroidi* per la loro piccolezza. La tavola seguente ne dice i nomi, gli scopritori, la data e il luogo delle scoperte.

Nomi dei pianeti	Nomi degli scopritori	Date delle scoperte	Luoghi delle scoperte
1 Cerere	Piazzi	1 gennajo 1801	Palermo
2 Pallade	Olbers	28 marzo 1802	Brema
3 Giunone	Harding	1 settembre 1804	Lilienthal
4 Vesta	Olbers	29 marzo 1807	Brema
5 Astrèa	Henke	8 dicembre 1845	Driessen
6 Ebe	Henke	1 luglio 1847	Driessen
7 Iride	Hind	13 agosto 1847	Londra
8 Flora	Hind	13 ottobre 1847	Londra
9 Methis	Graham	25 aprile 1848	Markrée
10 Igea	Gasparis	12 aprile 1849	Napoli
11 Partenope	Gasparis	11 maggio 1850	Napoli
12 Vittoria	Hind	13 settembre 1850	Londra
13 Egeria	Gasparis	3 novembre 1850	Napoli
14 Irene	Hind	19 maggio 1851	Londra
15 Eunomia	Gasparis	29 luglio 1851	Napoli
16 Psiche	Gasparis	17 marzo 1852	Napoli
17 Teti	Luther	17 aprile 1852	Bilk presso Dusseldorf
18 Melpomene	Hind	24 giugno 1852	Londra
19 Fortuna	Hind	22 agosto 1852	Londra
20 Massalia	Gasparis	19 settembre 1852	Napoli
21 Lutetia	Goldschmidt	15 novembre 1852	Parigi
22 Calliope	Hind	16 novembre 1852	Londra
23 Talia	Hind	15 dicembre 1852	Londra
24 Temide	Gasparis	5 aprile 1853	Napoli
25 Phocea	Chacornac	6 aprile 1853	Marsiglia
26 Proserpina	Luther	5 maggio 1853	Bilk
27 Euterpe	Hind	8 novembre 1853	Londra
28 Bellona	Luther	2 marzo 1854	Bilk
29 Anfitrite	Marth	2 marzo 1854	Londra
30 Urania	Hind	22 luglio 1854	Londra
31 Eufrosine	Ferguson	2 settembre 1854	Wasington
32 Pomona	Goldschmidt	27 ottobre 1854	Parigi
33 Polinnia	Chacornac	28 ottobre 1854	Parigi

Nel giorno 6 aprile di quest'anno 1855 Chacornac a Parigi scoperse un altro asteroide; non gli si pose ancora il nome.

Tutti gli asteroidi seguono le leggi di Keplero. Olbers pensò che siano i frammenti d'un medesimo pianeta che si ruppe, o per urto di un altro corpo cosmico, o per forze espansive generatesi nel suo seno. La meccanica insegna che se fosse così, dovrebbero le orbite di tutti gli asteroidi incontrarsi press' a poco in un medesimo luogo del cielo, il luogo del disastro. Tale condizione, che pareva non lontana dal vero per i primi asteroidi scoperti, non si riscontra negli ultimi.

Nel 1846 fu indovinata la presenza di un altro grande pianeta che si chiamò *Nettuno*. Leverrier, trattando col calcolo la congettura già proposta da altri, e segnatamente da Bouvard nel 1822, che certe irregolarità del moto del pianeta Urano dipendano dalla azione di un pianeta ulteriore non ancora osservato, potè additare l'esistenza di questo pianeta in un lontanissimo punto del cielo. Ne scrisse all'astronomo Galle di Berlino, il quale, subito nel 23 settembre, affissando col telescopio nel giusto punto indicato, vide il pianeta.

Anche Adamo di Cambridge, assunta la medesima congettura, aveva calcolato l'orbita di Nettuno, e aveva comunicato a parecchi astronomi inglesi il suo lavoro prima della scoperta di Leverrier.

La distanza di Nettuno dal sole è 30,04. La legge di Bode si dilunga a gran segno dal nuovo astro; essa dà il numero 388 per la distanza del pianeta che succede ad Urano; se moltiplicasi per 10 la distanza di Nettuno dal sole si ha il numero molto più piccolo 300,4.

Nettuno è il pianeta che noi conosciamo più rimoto dal sole; forse vi sono altri pianeti al di là, difficili a vedersi per la debole luce che ricevono dal sole e che mandano alla terra. Forse v'è pure qualche pianeta più prossimo al sole che non Mercurio, e che noi non vediamo perchè smarrito in quella gran luce della fonte vicina.

323. *Principali elementi delle orbite dei pianeti.* Ecco in due quadri i principali elementi delle orbite dei pianeti: il semiasse maggiore di ciascun'orbita, vale a dire la distanza media del pianeta dal sole; la durata della rivoluzione siderea, ossia il tempo periodico, il quale è in relazione con la distanza media per la terza legge di Keplero; l'eccentricità dell'orbita, che mostra quanto l'orbita differisca da un circolo; da ultimo l'inclinazione del piano dell'orbita verso il piano dell'eclittica. Il primo quadro comprende i pianeti più grandi, il secondo gli asteroidi. Nell'uno e nell'altro i corpi sono ordinati giusta le distanze dal sole, dal più vicino al più lontano.

Nomi dei pianeti	Distanze medie dal sole	Durate delle rivoluzioni sideree		Eccentricità	Inclinazioni
		in giorni	in anni		
Mercurio .	0,38710	87g,969	0an,24	0,20561	7°. 0′. 5″
Venere . .	0,72333	224, 701	0, 62	0,00686	3. 23. 29
Terra . . .	1,00000	365, 256	1, 00	0,01679	0. 0. 0
Marte . . .	1,52379	686, 980	1, 88	0,09322	1. 51. 6
Giove . . .	5,20277	4332, 585	11, 86	0,04816	1. 18. 52
Saturno . .	9,53885	10759, 220	29, 46	0,05665	2, 29. 36
Urano . .	19,1824	30686, 820	84, 02	0,0467	0. 46. 28
Nettuno .	30,04	60127,	164, 6	0,008	1. 46. 59

Nomi degli asteroidi	Distanze medie dal sole	Durate delle rivoluzioni sideree		Eccentricità	Inclinazioni
		in giorni	in anni		
Flora . . .	2.201727	1193g,281	3an,27	0,15680	5°. 53′. 3″
Melpomene	2,295753	1270, 531		0,21719	10. 9. 2
Vittoria . .	2,335003	1303, 2536		0,21820	8. 23. 7
Euterpe .	2,347507	1313, 736		0,17455	1. 35. 30
Urania . .	2,358329	1322, 8290		0,15490	1. 56. 42
Vesta . . .	2,361702	1325, 669		0,08884	7. 8. 25
Polinnia .	2,378572	1339, 8992		0,22439	1. 22. 21
Iride . . .	2,385310	1345, 600		0,23235	5. 28. 16
Meti . . .	2,386897	1346, 940		0,12282	5. 35. 55
Phocea . .	2,390843	1350, 2809		0,24640	21. 42. 30
Massalia .	2,408360	1365, 1482		0,14575	0. 41. 4
Ebe	2,425368	1379, 635		0,20201	14. 46. 32
Fortuna .	2,445902	1397, 192		0,15554	1. 33. 18
Partenope.	2,448097	1399, 074		0,09803	4. 36. 54
Teti	2,497756	1441, 859		0,13678	5. 35. 39
Anfitrite .	2,553665	1490, 540		0,07455	6. 7. 41
Astrea . .	2,577400	1511. 369	4, 14	0,18875	5. 19. 28
Irene . . .	2,581951	1515, 373		0,16976	9. 5. 33
Egeria . .	2,582492	1515, 850		0,08627	16. 33. 7
Pomona .	2,585054	1518, 106		0,09569	5. 39. 3
Lutetia . .	2,612466	1542, 318		0,11515	3. 5. 6
Talia . . .	2,625878	1554, 2093		0,23594	10. 13. 59
Eunomia .	2,650918	1576, 493		0,18934	11. 43. 50
Proserpina	2,652433	1577, 845		0,08595	3. 35. 45
Giunone .	2,669095	1592, 736		0,25608	13. 3. 17
Cerere . .	2,766921	1681, 093		0,07637	10. 37. 12
Pallade . .	2,722896	1686, 089		0,23943	34. 37. 20
Bellona . .	2,780725	1693, 6931		0,16288	9. 25. 7
Calliope .	2,911710	1814, 762		0,10361	13. 44. 49
Psiche . .	2.926334	1828, 452	5, 02	0,13375	3. 4. 1
Igea . . .	3,151388	2043, 386		0,10092	3. 47. 11
Temide . .	3,160312	2052, 072		0,12273	0. 49. 24
Eufrosine .	3.192287	2083, 295	5, 70	0,22942	26. 53. 26

324. *Particolarità dei diversi pianeti. Mercurio,* per essere molto vicino al sole, si vede ad occhio nudo solamente nelle sue massime elungazioni. Un crepuscolo che vi si osserva tra la parte illuminata dal sole e la oscura, tradisce l'esistenza di un'atmosfera che rifrange la luce poco meno dell'atmosfera terrestre. Ha montagne che le più alte si valutano a $^1/_{126}$ del raggio suo: da noi la maggior altezza di monte non è che $^1/_{740}$ del raggio terrestre. Dall'aspetto di queste montagne Schroëter conobbe che Mercurio si rivolge intorno ad un asse così situato che l'equatore del pianeta è quasi perpendicolare al piano dell'orbita; fa un giro in 24^{or}, 4^{m} (§ 307). Quando passa dinanzi la faccia del sole, presenta la figura di un disco senza alcuno schiacciamento.

Venere, giusta le osservazioni di Schroëter, fa una girata sull'asse in 23^{or}, 21^{m}, 19^{s}; come in Mercurio i giorni vi sono dunque press'a poco eguali ai nostri. L'angolo dell'equatore col piano dell'orbita è di 75°; quell'angolo che per la nostra terra è di 18° $^1/_2$; perciò le stagioni vi sono più risentite che da noi; nè vi hanno zone temperate, ma in ciascun emisfero la zona torrida e la glaciale si toccano, ed anzi rompono alternativamente il confine l'una sull'altra. L'atmosfera sua rifrange la luce quasi come la nostra; pare che vi nuotino delle nubi, perchè nelle quadrature il contorno circolare è più lucido che l'altra parte illuminata, quasi che le nubi, ricevendo ivi più diretta e però più abbondante la luce del sole, la riflettano pure in maggior copia. Il confine della parte illuminata non è una linea netta, ma è merlato ed anfrattuoso come nella luna, e ciò mostra che il pianeta ha montagne molto alte; si valuta che alcune sorgano per $^1/_{144}$ del raggio. Venere passando tra il sole e la terra si prospetta sul disco solare in forma d'una macchia nera ben rotonda, non vi si scorge schiacciamento alcuno; ma si avverta che se lo schiacciamento vi fosse pari a quello della nostra terra, noi non potremmo accorgercene perchè il diametro apparente dell'astro è piccolissimo, non è più di un minuto. Questo pianeta riluce candido e come una stella splendidissima. Quando è ad est del sole si vede la sera anche a crepuscolo acceso, e quando è ad ovest del sole si vede al mattino, ed è l'ultimo astro su cui possa l'aurora. Lo splendore suo è diverso come portano le fasi; talvolta è sì vivo che si vede ad occhio di pieno giorno.

Marte è dei pianeti superiori quello che si fa più vicino alla terra; nel tempo della sua opposizione al sole non è distante

da noi se non la metà della distanza del sole; però si porge bene alle osservazioni. Al moto di alcune macchie Herschel vide che finisce un giro in poco più di 24 ore, l'equatore suo è inclinato di 28°, 42' al piano dell'orbita. Le stagioni devono dunque succedersi là simili alle nostre, e vi devono essere, come sulla terra, una zona torrida, due zone temperate e due glaciali, ma le temperate meno larghe in proporzione che qui. Le variazioni di certe macchie, che probabilmente sono ammassi di nubi, e l'offuscarsi delle stelle già a qualche distanza dall'astro fanno prova che Marte è cinto d'una grande atmosfera. Presenta a noi delle fasi, ma non così spiccate come Mercurio e Venere. Ha luce rossiccia; nella opposizione col sole si fa molto splendido, e mostra la sua giusta figura, che è di globo schiacciato ai poli molto più che non la terra. Arago stima lo schiacciamento a meglio che $1/30$ del diametro. Sono cospicue due macchie biancastre nelle regioni polari; è verosimile che siano ghiacci e nevi, perchè si vede che l'una cresce mentre l'altra diminuisce e viceversa, proprio come conviene alle posizioni alternate che prende il sole rispetto ai due emisferi.

Asteroidi. Questi sono ben piccoli. Le misure di Herschel danno al diametro di Cerere 259 chilometri, a quello di Pallade 178 chilometri; misure prese da altri danno valori diversi; onde si crede che i due pianeti non siano sferici, e che gli osservatori abbiano misurato diametri differenti; Giunone pare meglio rotondo. A farsi una immagine della piccolezza degli asteroidi si pensi che la superficie di Pallade è circa $1/6$ di quella dell'Italia. Pallade ha un'atmosfera amplissima, la cui altezza si valuta a 15 raggi dell'astro. Hanno atmosfera grande anche Cerere e Giunone, Vesta pare senza atmosfera.

Giove. La mole sua lo fa ingrandire sensibilmente d'aspetto ai telescopi anche deboli. Vi si osservano a volte delle macchie, le quali danno a vedere che gira da occidente ad oriente intorno ad un asse quasi perpendicolare al piano dell'orbita; l'equatore del pianeta è inclinato a questo piano di soli due o tre gradi; le stagioni vi devono essere ben poco diverse tra loro. Mostra certe striscie trasversali quasi parallele all'eclittica; Herschel pensò che dipendano da correnti aeree somiglianti ai nostri venti alisei.

Le grandezze dei satelliti non sono conosciute perchè i diametri apparenti son tanto piccoli che non ci vien fatto di misurarli; ma si vede che il terzo è più grande degli altri, poi vengono il quarto, il primo, il secondo.

La velocità con che Giove ruota sull'asse, la quale dà giorni brevi di 9^{or}, 53^{m}, il rapido giro dei satelliti (§ 507), e le fasi loro presto mutate, e gli ecclissi frequenti, devono rendere assai svariato lo spettacolo del cielo a quegli abitatori. Il disco del sole veduto di là deve parere 27 volte più piccolo che dalla terra.

Saturno si vede ad occhio nudo come una stella di prima o di seconda grandezza; splende meno che Giove e di una luce appannata e plumbea. Già Herschel aveva osservato alcune zone parallele sul globo di Saturno, simili a quelle di Giove; ora Lassel ha diviso la superficie del pianeta in 9 zone di vario colore (fig. 230). La tinta delle regioni intorno ai poli pare che

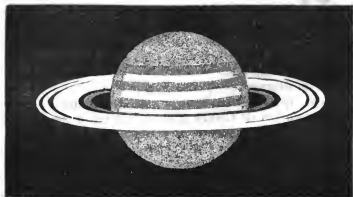



Fig. 230.

accusi la presenza di nevi, come in Marte. Saturno è molto schiacciato nella direzione dell'asse intorno a cui ruota; Herschel valuta la depressione a $^1/_{11}$. Il sole veduto di là pare 90 volte più piccolo che dalla terra.

L'anello piatto, che circonda Saturno a distanza, ha la circonferenza esterna d'un diametro di ben 45 raggi terrestri, la larghezza del suo piano è di circa 7 raggi; non è semplice ma è composto di più anelli concentrici, i cui intervalli sono visibili principalmente nelle parti ai fianchi del pianeta. Lassel accertò non è guari l'esistenza di un anello interno ai suddetti, oscuro ma trasparente, già osservato prima da altri, il quale par fatto di un fluido aeriforme. Il sistema anulare ha poca grossezza; quando ci volge la costola si projetta in una striscia sottile sul corpo del pianeta, e talvolta le parti laterali non si vedono più.

Ottone Struve, confrontando alle antiche le osservazioni recenti, trovò che la larghezza dell'anello solido è cresciuta negli ultimi 200 anni come per una dilatazione all'interno verso il globo del pianeta. Il P. Secchi, per un confronto delle misure notate dal Campani nel 1664 con le attuali, confermò la cosa: forse col tempo l'anello si estenderà a toccare il globo di Saturno.

Urano, invisibile ad occhio nudo, piglia al telescopio la figura di un piccolo disco. Herschel osservò che è alquanto schiacciato secondo un diametro posto quasi nel piano dell'eclittica, quindi è da credere che esso ruoti intorno a quel diametro. Da Urano l'aspetto del sole dev'essere poco più che di una stella di prima grandezza.

Nettuno è invisibile ad occhio nudo; un telescopio mediocre lo mostra come una stella di ottava grandezza; un telescopio potente lo ingrandisce. Parve a Lassel di scorgere, oltrechè il satellite (§ 307), anche un anello intorno a Nettuno. Il sole a vederlo da Nettuno deve parere 900 volte più piccolo che dalla terra.

Le molto diverse distanze a che sono i pianeti dal sole, fonte di luce e di calore per tutti, devono indurre una differenza grande nelle condizioni fisiche della superficie loro. Giovi, a vedere in numeri piccoli codeste distanze, una tavola dei tempi che la luce spende a passare dal sole ai diversi pianeti:

a Mercurio	0^{or}, 5',12''
a Venere	0, 5,55
alla Terra	0, 8,15
a Marte	0, 12,29
a Flora	0, 18,27
ad Eufrosine.	0, 26,12
a Giove	0, 42,30
a Saturno	1, 18,25
ad Urano	2, 37,28
a Nettuno	4, 6,50.

325. *Indizii della unità d'origine di tutti i pianeti.* L'orbita di Nettuno è l'estremo confine conosciuto del sistema planetario. Ad offrire una qualche immagine della distanza di questo confine dal centro di tutti i movimenti dei pianeti, dirò che correndo con la velocità di 100 leghe al giorno, come si fa sulle strade ferrate, ci vorrebbe un trentamila anni per andare

dal sole a Nettuno. Eppure tutto il sistema di pianeti circolanti intorno al sole non piglia che una pochissima parte della sfera che ha per centro il sole e per raggio l'intervallo tra il sole e la stella fissa più vicina. Diffatti la luce che in 4 ore passa dal sole a Nettuno deve correre ben 10 anni per venire dalla stella più vicina fino a noi (§ 262). Il sole dunque e i pianeti che lo accerchiano sono un sistema di corpi isolati nel mezzo di uno spazio grandissimo dove non v'è alcuna stella.

Le condizioni esplicite di tali corpi, prescindendo pure da quell'unica forza intrinseca la quale vedremo che corregge i moti di tutti, fanno già manifesto che essi non sono corpi indipendenti l'uno dall'altro e venuti per caso lì vicini tra loro. E invero tutti i pianeti si movono intorno al sole, non si scostano che pochissimo da uno stesso piano passante per questo centro dei loro movimenti, il piano dell'eclittica, salvo alcuni degli asteroidi le cui orbite fanno con esso piano un angolo grande. I movimenti di tutti intorno al sole seguono per il medesimo verso da occidente ad oriente. I satelliti che accompagnano i pianeti si movono anch'essi dentro piani ben poco inclinati a quello dell'eclittica, e anch'essi da occidente ad oriente; non vi sono che i satelliti di Urano che si dipartono da tali norme. E il sole ruota pure da occidente ad oriente, e intorno ad un asse che è quasi perpendicolare al piano dell'eclittica. E i pianeti, dei quali s'è potuto accertare la rotazione, girano per quel medesimo verso; e così la luna. Tanta concordanza di condizioni mostra bene che il sistema non si è formato per un fortuito ravvicinamento di corpi di provenienza diversa, ma è piuttosto il complesso delle parti in cui s'è diviso un medesimo ammasso roteante di materia, le quali parti, nella somiglianza dei loro moti, serbano i segni della origine comune.

326. *Comete. Loro aspetto.* Le comete sono astri che vengono il maggior numero da lontane regioni del cielo, e quando passano vicino al sole ne ricevono molta luce, onde noi li vediamo: e dopo si allontanano in loro cammino dal sole e noi non li possiamo più vedere.

L'aspetto che d'ordinario presentano è di un punto più o meno lucido, circondato d'una nebulosità che si protende a striscia (fig. 231). Il punto lucido si dice il *nucleo* della cometa, la parte nebulosa che lo cinge si dice la ***chioma***, la striscia lunga la *coda*. Vi sono comete senza coda, fatte del nucleo e della chioma; altre pur senza chioma che a vederle sembrano

pianeti, ed altre non più che nebulosità senza nucleo. Ma si danno comete anche a più code.

Fig. 231.

La coda è talvolta lunghissima; la cometa del marzo 1843 si traeva dietro una coda che misurava ben 40° sulla vôlta celeste; la cometa del 1680 aveva la coda lunga 90°, quella del 1769 97°, e quella del 1618 104°. Nel 1744 fu vista una cometa con 6 code lunghe ciascuna da 30 a 40°, le quali insieme tenevano in larghezza lo spazio di circa 44°. Di solito le code delle comete sono diritte, giacchè si disegnano per projezione sulla sfera celeste secondo archi di cerchi massimi; ma v'è memoria di code curve; a detta degli storici una cometa nel 1689 aveva la coda foggiata come sciabola turca.

Il numero delle comete dev'essere di più migliaja, *ut pisces in oceano*, dice Keplero. Si stima che siano da sei ad ottocento le comete delle quali s'è pigliato ricordo; ma di sole 200 circa abbiamo calcolato le orbite.

Il moto apparente delle comete è molto rapido, però esse non restano visibili che per pochi giorni; scompajono tal fiata, immergendosi nella luce del sole, e poi ne emergono e sono visibili ancora per qualche tempo. I Pitagorici tenevano le comete in conto di astri, ma presso gli Antichi prevalse l'opinione che siano meteore generatesi nella nostra atmosfera; Ticone Brahè riconobbe che sono veri astri. Newton dimostrò che parecchie descrivono elissi allungatissime con un fuoco nel sole, onde pare a noi, che le vediamo soltanto nelle parti dell'orbita vicina al perielio, ch'elle percorrano un arco di parabola; osservano dunque la prima legge di Keplero e con questa anche le altre due. Forse l'orbita di alcune comete è veramente una parabola.

327. *Comete periodiche.* Certe comete ritornano a periodi ben misurati di tempo; però si dicono *periodiche*. L'identità loro non si riconosce già dall'aspetto che hanno, perchè l'aspetto d'una cometa si cangia talvolta moltissimo in brevi intervalli di tempi, ma si conosce dagli elementi dell'orbita.

Fin qui le comete periodiche e delle quali si può predire il ritorno sono:

1.° La cometa di Halley. Questo astronomo, calcolati gli elementi d'una cometa osservata nel 1682 da Lahire, Picard, Evelio e Flamsteed, e gli elementi d'una cometa osservata nel 1607 da Keplero e Longomontano, vide essere gli uni pressochè uguali agli altri; pensò che si riferissero ad un medesimo astro il quale facesse il giro intorno al sole in 75 anni. Risalendo ai tempi anteriori apprese che 76 anni prima del 1607, cioè nel 1531, una cometa era stata veduta da Appiano; calcolati gli elementi anche di questa, li trovò molto bene concordi con gli elementi delle comete del 1607 e del 1682; non dubitò più che le tre osservazioni concernessero una cometa medesima, la quale compia il giro nell'orbita in 75 o 76 anni; e predisse che sarebbe ritornata al perielio verso l'anno 1758. Ma la cometa nel suo viaggio doveva, come vedremo, risentire certe attrazioni da parte dei principali pianeti a cui passava da presso, le quali potevano mutare alquanto il tempo del ritorno. Clairaut prese a calcolare gli effetti di codeste attrazioni, e vide che l'azione di Giove avrebbe ritardato il ritorno di 518 giorni e l'azione di Saturno di altri 100 giorni, onde la cometa sarebbe rivenuta al perielio verso la metà di aprile del 1759, ed avvisò che l'errore probabile dei computi fatti per approssimazione potrebbe toccare a 30 giorni in più o in meno. E infatti la cometa di Halley passò il suo perielio nel 1759 al 12 marzo. I calcoli davano ch'ella vi sarebbe tornata nel 1835 verso il 13 novembre, e vi tornò al 16.

Laugier, con la scorta del valore degli elementi, ritrovò negli Annali astronomici chinesi un'altra comparsa della cometa di Halley avvenuta nel 1378.

Paragonando il tempo periodico della cometa con quel della terra, si ha dalla terza legge di Keplero che il grand'asse dell'orbita sua è 35,9 volte quello dell'eclittica; e siccome la distanza che ha dal sole la cometa quando è al perielio, cioè la minima distanza, è circa 0,6, così la massima distanza è 35,3. Ha moto retrogrado.

2.° Una cometa osservata a Marsiglia il 26 novembre 1818 da Pons diede elementi molto simili a quelli d'una cometa veduta nel 1805. Si pensò che fosse questa medesima, la quale nel frattempo avesse fatto uno o più giri nell'orbita sua. I computi di Encke di Berlino diedero ch'ella finisce un giro in soli 1211 giorni, o circa 3,6 anni, cosicchè dal 1805 al 1818 la cometa aveva fatto 4 viaggi. Tale periodicità ebbe ed ha conferma dalle osservazioni che si fecero di poi, e che si vanno

facendo. La cometa si chiama *di Encke* o *cometa a breve periodo*. La sua distanza minima dal sole è $^1/_3$ dell'intervallo tra il sole e la terra; la distanza massima non più di 4 volte questo intervallo; l'orbita dunque giace tutta compresa nell'orbita di Giove (1).

3.° Biela nel 27 febbrajo 1826 osservò pel primo una cometa i cui elementi si riconobbe che sono ben prossimi a quelli di due comete già vedute, l'una nel 1805, l'altra nel 1772. Subito si congetturò che le tre osservazioni concernessero un medesimo astro periodico e la congettura si è avverata. Spetta al nostro commendatore Santini il merito di avere discusso le osservazioni tutte di questa cometa, e con l'esatto calcolo delle perturbazioni, rinvenuto il giusto sistema degli elementi suoi. Il periodo è di circa 6 anni e $^3/_4$. Intorno alla linea dei nodi l'orbita è prossima all'orbita terrestre, il che potrebbe nel corso dei secoli condurre l'astro a passare assai vicino al nostro globo. Nel 1832 se la cometa fosse venuta un mese prima avrebbe incontrato la terra.

4.° Gli elementi di una cometa veduta da Faye nel 22 novembre 1843, quantunque non offrissero somiglianza con quelli delle comete già elencate, diedero fede che l'astro sarebbe ricomparso al principio del 1851; e l'astro ricomparve e toccò il perielio nell'ora medesima prefissa dal calcolo istituito da Leverrier; il tempo periodico della cometa di Faye è di circa 7 anni e mezzo.

Forse le osservazioni avvenire confermeranno essere periodiche anche le seguenti:

5.° Una cometa scoperta da Vico direttore dell'osservatorio del Collegio Romano il 22 agosto 1844, la quale aveva allora il nucleo ben lucido e la coda breve; la si potè vedere anche ad occhio nudo. Le osservazioni le assegnarono un'orbita d'un periodo di circa 5 anni e mezzo. I calcoli di Leverrier fanno probabile la congettura che questa cometa, venendo da lontane regioni, sia stata, or sono parecchi secoli, indotta dalla

(1) La cometa di Encke è celebre perchè porse indizio di un fluido resistente diffuso nello spazio; essa ha moto retrogrado, il quale si accelera tanto che il tempo della rivoluzione si abbrevia di circa giorni 0,11 ogni volta; ciò prova, per la terza legge di Keplero, che la distanza media della cometa dal sole diminuisce. I fisici amano di attribuire la diminuzione alla resistenza di un fluido etereo il cui sistema vada girando, come il sole e i pianeti, di moto diretto, e così detragga alquanto alla forza tangenziale dell'astro che vi corre in direzione opposta a tal moto, onde la forza attrattiva del sole piglia vantaggio e restringe l'orbita.

attrazione di Giove a trattenersi nel nostro sistema planetario, e che sia la stessa cometa che fu osservata nel 1678. Col tempo l'orbita sua accosterà molto davvicino l'orbita di Giove in una direzione opposta a quella che aveva quando si aggiunse al nostro sistema, e allora il corso andrà soggetto ad una nuova alterazione per l'influenza di quel grande pianeta, e forse l'astro ne avrà tale indirizzo per cui ci abbandoni.

6.° Una cometa veduta da Brorsen mentre era studente di filosofia a Kiel, il 26 febbrajo 1846. Fu presto riconosciuto essere l'orbita sua una elisse col periodo di circa 5 anni e mezzo.

7.° Una cometa veduta da Peters il 26 giugno 1846 a Capo di Monte vicino a Napoli; questa avrebbe un periodo di circa 16 anni.

8.° Una piccola cometa scoperta da Arrest il 27 giugno 1851 coll'orbita elittica di breve periodo cioè di circa 6,70 anni.

328. *Particolari sulla costituzione delle comete.* I segni che distinguono le comete dai pianeti sono: l'aspetto nebuloso e talvolta rapidamente variabile; l'essere il moto di parecchie retrogrado, mentre tutti i pianeti hanno moto diretto, la grande eccentricità dell'orbita, tanto che nelle parti dove l'astro è visibile l'arco si conviene il più delle volte con una parabola; infine la molta inclinazione al piano dell'eclittica. Ma questi segni, tranne quello del moto retrogrado, e l'altro d'una grandissima eccentricità, non sono sicuri. Pallade è pur circondata da un'atmosfera altissima, e l'orbita sua è inclinata all'eclittica, più che le orbite delle comete periodiche. Forse Pallade un tempo era cometa.

La nebulosità delle comete non è fitta come le nebbie terrestri; essa non impedisce guari e non rifrange punto la luce delle stelle. Se è fatta di un fluido aeriforme, conviene che la tenuità ne sia ben grande; ma forse è fatta di molecole indipendenti tra loro, il cui complesso non ha potere sui raggi luminosi. Le nostre nubi tenui sono un esempio di questo modo; anch'esse non alterano nè punto nè poco le altezze degli astri.

D'ordinario il nucleo delle comete non pare un solido ma pare non più che un addensamento del fluido medesimo ond'è fatta la nebulosità, il quale diminuisce per gradi fino alle parti più attenuate. Vedremo che tutto il corpo d'una cometa ha massa piccolissima in confronto del volume. La bella cometa del 1811 aveva il nucleo come separato dalla chioma per un anello oscuro.

Le comete variano talvolta grandemente di figura da un di all'altro; forse questa grande mutabilità è la cagione che appariscono d'improvviso certe comete con ampia coda che il dì innanzi non erano visibili. Evelio notò che il nucleo della cometa del 1618 si restrinse nell'avvicinarsi al sole e si dilatò poi di nuovo nell'allontanarsi. Valz fece una osservazione simile sulla cometa di Encke. Egli attribuisce il fenomeno ad una effettiva pressione variabile esercitata da un mezzo eterco la cui densità vada crescendo in vicinanza del sole; ma per accettare questa spiegazione bisognerebbe ammettere che la massa aeriforme della cometa sia impermeabile a quel mezzo etereo, e ciò pare inverosimile.

Nel gennajo del 1846 si vide il nucleo della cometa di Biela dividersi in due parti che andarono lentamente scostandosi l'una dall'altra ed anche alternando nella grandezza e nello splendore; quando si dileguò in quell'anno, l'intervallo dei due nuclei era di circa mezzo grado. Ritornò al perielio, come doveva, nell'agosto del 1852; l'intervallo dei due nuclei in quest'ultima comparsa era cresciuto a 4°. Il fatto non è senza esempi anteriori. Seneca riferisce, ma senza prestarvi fede, la testimonianza di un tale che vide una cometa spartirsi in due; gli astronomi chinesi narrano di tre comete che comparvero nell'anno 896 vicinissime tra loro e viaggiarono di conserva; forse erano tre parti d'una cometa unica un tempo.

Le comete volgono la coda dalla banda contraria a quella dov'è il sole. Così mentre si avvicinano al sole la traggono dietro, e quando poi se ne allontanano la mandano innanzi. Pare che il sole abbia virtù di respingerla. L'osservazione è antica. Seneca dice che le code delle comete fuggono dinanzi ai raggi del sole; se ne trova nota ancora negli Annali degli astronomi chinesi fin dall'anno 837. In Europa vi richiamarono l'attenzione nel secolo XVI principalmente Fracastoro e Pietro Appiano. Ma certe comete hanno un fascetto lucido rivolto dalla parte del sole, anzi la cometa del 23 gennajo 1824 drizzava al sole una seconda coda, e la cometa di Halley nell'ultima sua comparsa, l'anno 1835, aveva una prominenza sensibile rivolta a quell'astro. Bessel che osservò la cometa attentamente vide che il nucleo oscillava alquanto da una parte e dall'altra del raggio vettore [1].

[1] Forse la ragione di questi modi che tengono le comete e insieme dei grandi mutamenti di forma è la polarità magnetica del sole a cui risponde una polarità delle comete, o loro propria o indottavi dal gran luminare (Vedi la nota al § 290, pag. 122).

329. *Attrazione universale.* Svelate le leggi di una classe di fenomeni, è fatta abilità alla mente di investigare con la fida loro scorta quale sia la causa che produce quella classe di fenomeni. Ma d'ordinario la fantasia precorre alla perfetta cognizione delle leggi, e l'asserto precede la dimostrazione.

Già nel secolo XVII erano molto accreditate tra i filosofi le seguenti opinioni circa le potenze che reggono l'ordine delle sfere: che una attrazione combinata con una forza di projezione possa ritenere in movimento i pianeti intorno al sole (Borelli) (1); che vi abbia una attrazione reciproca fra i corpi (Fracastoro (2), Keplero, Gallileo, Borelli); che questa sia proporzionale alle loro masse (Keplero), e varii secondo il rapporto inverso del quadrato delle distanze (Bouillaud); e che la forza di gravità, la quale non lascia di agire nelle maggiori altezze accessibili all'uomo si estenda fino alla luna (Horrox) (3).

Newton dimostrò come queste opinioni, che erano sparse, e pressocchè tutte congetturali, rispondono esattamente, la prima alle concludenze sicure della meccanica razionale, le altre ai fatti, e collimanò tutte ad un principio sotto di cui vengono a collocarsi in legittima sede molte altre verità già prima stabilite. Il modo con che Newton si condusse a toccare la meta sublime è uno splendido esempio della sagacia, che dissi propria dei sommi ingegni, di proferire o di trascegliere congetture e dedurre verità nuove dalle verità note (§ 14). Vediamone di scorcio i tratti principali.

Egli pensò: a dar ragione del moto della luna intorno alla terra bisogna ammettere che la luna abbia ricevuto da una spinta projettile una certa velocità che vi si mantiene costante, e che insieme una forza la tiri di continuo verso l'interno dell'orbita dov'è la terra (forza centripeta). È necessario che le due condizioni siano accoppiate; nè l'una nè l'altra da sola basterebbe a reggere il moto curvilineo della luna. La sola attrazione tirerebbe l'astro in linea retta verso l'interno dell'orbita; e la velocità di projezione, senza la forza centripeta, lo porterebbe di moto uniforme lungo una retta ad allontanarsi ognora più dalla terra; anzi questa cosa avrebbe capo in qualsivoglia tempo che la forza centripeta venisse a cessare, giacchè, dall'istante che cessasse, l'astro proseguirebbe per l'iner-

(1) *Theoricæ mediceorum planetarum ex causis physicis deductæ, Borelli.* Fir. 1666.

(2) *Fracastori opera.* Venet. 1574, fol. 62.

(3) *Astronomia Kepleriana defensa et restaurata.* Cap. 2.

zia a correre sulla tangente che parte dall'orbita nel punto dove si fosse trovato in quell'istante.

Ma se la luna è di continuo attirata verso l'interno dell'orbita sua dove si trova la terra, non è egli probabile che compia questo ufficio la gravità terrestre? Supposto che tale sia il fatto, sorge la domanda: la gravità esercitandosi a tanta distanza quanta ne corre dalla terra alla luna, con che energia opera poi sulla luna? o, in altre parole, come varia questa forza di gravità al variare della distanza che hanno dalla terra i corpi su cui ella opera? Newton coi canoni della meccanica scompose il moto della luna, facendo le debite parti della velocità di esso moto alla forza projettile ed alla forza centripeta, e trovò che per quest'ultima la luna, se fosse libera di cadere verso la terra, percorrerebbe in sul principio $^1/_{3600}$ dello spazio che percorre in egual tempo un grave alla superficie terrestre. La gravità dunque, s'ella è veramente la forza centripeta della luna, adopera alla distanza di 60 raggi terrestri dal centro del globo, che tale è l'altezza del nostro satellite, appena con $^1/_{3600}$ della energia con che adopera alla distanza di un raggio solo; vale a dire che passando dalla superficie terrestre al centro lunare la gravità decresce in ragione dei quadrati delle distanze. La bella semplicità di questa legge è per sè sola una fragranza di vero (1).

(1) Sia Ll (fig. 232) il piccolo arco di orbita che la luna L in un tempo brevissimo descrive intorno alla terra C. Si può ritenere che in questo brevissimo tempo l'azione della forza centripeta, la quale si esercita dal centro della terra sia costante e parallela al raggio CL. Senza l'azione di questa forza la luna sarebbe andata per la tangente Lt, e alla fine del tempuscolo sarebbe pervenuta in t; ella invece si trova in l, rabbassata dal punto t di uno spazio tl, perciocchè la forza centripeta componendosi con la velocità della luna in L, e di continuo lungo il viaggio, tirò l'astro, in quel tempuscolo, verso la terra d'uno spazio L$e = tl$. Se la forza centripeta è la gravità, bisogna dunque dire ch'essa alla distanza che ha la luna dalla terra si è ridotta a tal valore da far ivi discendere un grave per uno spazio tl in quel brevissimo tempo. Per definire questo valore vuolsi valutare lo spazio tl. Valutiamolo.

L'arco Ll si può prendere piccolo quanto piace; prendasi così piccolo che si confonda con la sua corda, allora l'angolo LlD è retto perchè fatto nel semicircolo, e dai due triangoli rettangoli simili LlD ed Lel si ha Le, ossia $tl : Ll = Ll : LD$, ossia 2CL; da cui $tl = \frac{\overline{Ll}^2}{2\,CL}$ dove CL è il raggio dell'orbita della luna, considerata quale una periferia di circolo, ossia è la distanza media della luna dalla terra.

Supponiamo, per farci al particolare, che l'arco Ll sia quello che la luna passa in un minuto secondo di tempo medio (§ 303) e chiamiamo T la durata di una rivoluzione siderea della luna (§ 295) espressa in minuti secondi

Lo spirito scientifico tira all'unità; sia perchè la natura, nella suprema sua economia, raccomandata l'immensa varietà dei fenomeni a poche cause, abbia in pari tempo, quasi rassegnando ad uno stesso marchio e l'ordine dei fatti e quello delle idee, impresso nella nostra mente una tendenza alle unificazioni; o sia, come parmi più probabile, perchè la mente nell'esercizio della pura sua virtù conoscitiva abbia preso a

di tempo medio; è chiaro che L*l* sarà tale frazione della periferia intera

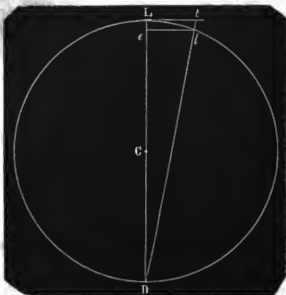



Fig. 232.

di raggio CL, quale si ottiene dividendo questa periferia per il numero T, cioè sarà:

$$Ll = \frac{2\pi CL}{T}.$$

Ponendo questo valore nella equazione precedente, si ha:

$$tl = \frac{2\pi^2 CL}{T^2}.$$

Per definire lo spazio *tl* bisogna dunque conoscere la durata T della rivoluzione siderea della luna ed il raggio medio CL dell'orbita lunare. Al tempo di Newton la durata della rivoluzione siderea era nota con sufficiente approssimazione; egli la assunse di 27g, 7or, 43m, onde pose T = 2360580 secondi. Il raggio medio dell'orbita luuare, cioè la distanza della luna dalla terra, si ottiene dividendo il raggio del globo terrestre, preso come unità di misura, per il seno della parallasse orizzontale diurna della luna (§ 259,

poco a poco un'abitudine conforme alle condizioni vere delle cose. Comunque sia egli è certo che quando un principio fa buona prova in un primo caso particolare, esso acquista nella mente dell'uomo una forza di espansione, non è più contento dei nativi confini, prorompe, e, sol che l'indole sua nol vieti, si estende a dominare il mondo. Dunque Newton, dando ala al principio applicato al moto della luna, congetturò che la forza, la quale piega il cammino dei pianeti intorno al sole, non sia se non la forza di attrazione del sole e prese a cimentare la congettura coi fatti. I fatti erano già riassunti e formulati nelle leggi di Keplero. Da queste leggi Newton trasse per matematiche deduzioni gli argomenti che fecero della sua congettura una verità.

Egli compose le tre leggi in un teorema solo, che definisce la giusta forza centripeta solare la quale rattiene i pianeti nelle orbite, facendo equilibrio di continuo in ciascun pianeta alla forza centrifuga indotta dalla velocità di circolazione. Considerato che le distanze dei pianeti dal sole sono grandissime rispetto alle dimensioni di essi, Newton da principio li riguardò come semplici punti in moto, e dalle leggi di questo moto salì passo passo ad assegnare i caratteri della forza che lo governa.

Cominciò a dimostrare che se un corpo si aggira intorno

pag. 49, nota 2). La parallasse orizzontale della luna si era pur misurata con bastevole approssimazione; Newton ne pose il seno $= \frac{1}{60}$. Ma nel 1666, quando Newton intraprese il suo calcolo, la lunghezza del raggio terrestre non era ben nota; le si dava un valore alquanto più piccolo del vero; però il risultato del calcolo non rispondeva bene all'intento di Newton. Per buona sorte Piccard nel 1682 diede una misura meglio approssimata del raggio terrestre, e allora Newton rifece il calcolo e gustò la gioja di vedere puntualmente confermato il suo pensiero.

Ritenuto che la circonferenza della terra sia, come la stimò Piccard, di 123249600 piedi francesi, e ritenuto che il seno della parallasse lunare sia $\frac{1}{60}$, si trova essere la lunghezza dell'orbita della luna

$$2\pi CL = 123249600 \times 60 \text{ piedi.}$$

Sostituendo questo valore nella formola precedente si ottiene:

$$tl = 0^{lin}, 60036.$$

La forza centripeta dunque abbassa la luna in un minuto secondo di $0^{lin},60036$.

Newton, dopo ciò prese a valutare di quanto la gravità farebbe discendere in un minuto secondo un corpo che fosse alto dalla terra quanto è alta la luna, nel supposto che la gravità decresca in ragione del quadrato della distanza, e trovò che lo farebbe discendere di $0^{lin},60382$. Vedendo essere questo spazio pressocchè il medesimo di quello onde la luna discende effettivamente per l'azione della forza centripeta nel percorrere l'orbita sua, pensò che la forza centripeta della luna sia proprio la gravità terrestre, la cui energia al crescere della distanza dalla terra diminuisca nella ragione del quadrato della distanza.

ad un punto che sia fisso, od anche in movimento uniforme e rettilineo, e vi si aggira in modo che il suo raggio vettore descriva, circa quel punto, delle aree proporzionali al tempo, la forza centripeta non può essere se non diretta verso quel punto [1]. Ora giacchè, per la seconda legge di Keplero, i pianeti si aggirano intorno al sole propriamente nel modo sud-

(1) *Philosoph. nat. princ. math.* L. I, Sect. II, Prop. II. Ecco uno schizzo di dimostrazione elementare.

Un pianeta A (fig. 233), dotato di una velocità di projezione, sia soggetto all'azione di una forza che lo tiri verso il sole S. Suppongasi per poco che questa forza operi non di continuo ma ad intervalli eguali di tempo. Sia AB il cammino fatto dal pianeta in una di queste unità di tempo. Giunto al termine B il pianeta riceve un impulso dalla forza suddetta, però esso nella unità di tempo successiva non prosegue il moto nella stessa direzione a fare un cammino BM = AB, ma per l'impulso nuovo secondo BS, il quale gli conferisce una certa velocità per cui nella unità di tempo medesima andrebbe da B in N, devia e percorre la diagonale BC del parallelogrammo BMCN descritto sulle rette BM, BN.

Fig. 233.

In queste condizioni il moto del pianeta si fa di tal guisa che i due triangoli ABS, BCS descritti dal raggio vettore nelle due successive unità di tempo eguali hanno eguale superficie. Diffatti i triangoli ABS, BMS sono equivalenti perchè di uguale altezza e con basi AB, BM uguali, e i triangoli BCS e BMS sono pure equivalenti perchè di base BS comune e compresi fra le medesime parallele BS, MC; dunque ABS, e BCS, per essere ciascuno equivalente al medesimo triangolo BMS, sono equivalenti tra loro. Si dica lo stesso di tutti i triangoli descritti dal raggio vettore nelle unità successive tutte eguali di tempo; ne conseguita che l'area descritta dal raggio vettore in un certo numero qualunque di unità di tempo, è eguale alla somma delle aree di tanti triangoli equivalenti quante sono le unità di tempo, ossia è proporzionale al tempo che il pianeta consuma a percorrere la parte di poligono ABC... su cui insistono quei triangoli. Tale conchiusione deve stare qualunque sia la grandezza delle unità eguali di tempo che decorrono tra i successivi impulsi della forza diretta verso il sole, dunque sta anche quando codeste unità sono infinitamente piccole, ossia quando l'azione della forza è continua e il pianeta percorre una curva. Così è dimostrato che se un pianeta si move sotto l'azione continua di una forza diretta costantemente verso il sole, deve andarne per modo che si verifichi la seconda legge di Keplero.

Ma per essere sicuri che la forza che corregge il moto dei pianeti è propriamente la forza centripeta solare, vuolsi altresì dimostrare che la seconda legge di Keplero non può avverarsi altrimenti che per effetto di codesta forza. L'assunto è facile. Se la direzione della forza che opera sul pianeta giunto in B non fosse la BS, farebbe con la BS un certo angolo e allora la MC parallela alla nuova direzione non sarebbe parallela a BS, e però i due triangoli BCS, BMS, a base comune BS, avrebbero i loro vertici C, M

detto, la forza che ritiene tutti i pianeti nelle loro orbite è sempre diretta per ciascheduno verso il sole, come se abbia sua sede in quell'astro.

Nota così la direzione della forza, era da investigare come varia l'intensità sua sulla unità di massa di un pianeta al variare della distanza di questo dal sole. Newton dimostrò che se la curva percorsa da un corpo è una elisse da un fuoco della quale agisce la forza centripeta, è necessario che la forzà varii d'intensità in ragione inversa del quadrato della distanza dal fuoco [1]. Siccome, giusta la prima legge di Keplero, le orbite dei pianeti sono elissi con un fuoco nel sole, dal quale abbiamo veduto che si esercita la forza centripeta quasi da propria sede, così ne segue di necessità che l'attrazione del sole sopra l'unità di massa di ciascun pianeta decresce nella ragione del quadrato della distanza dal sole, cioè appunto con la stessa legge trovata nella gravità terrestre per la distanza della luna. La forza con che il pianeta intero è tirato verso il sole sarà proporzionale alla massa del pianeta medesimo.

Infine era da investigare se i diversi pianeti sono ritenuti intorno al sole da una identica potenza o da potenze specifiche di grandezza diversa. Newton dimostrò mediante la terza legge di Keplero [2] che la forza centripeta che infrena tutti i pia-

a distanze diverse dalla base, onde le loro superficie non sarebbero eguali; e così il triangolo ABS, pur sempre eguale in superficie al BMS, non sarebbe più eguale in superficie al triangolo BCS; e perciò tutte le conseguenze dedotte di sopra da questa eguaglianza non starebbero, cioè la seconda legge di Keplero non avrebbe luogo. Il fatto dunque che i pianeti osservano la seconda legge di Keplero inchiude la necessità che la forza centripeta sia diretta verso il sole.

(1) *Phil. nat. princ. math.* L. I. Sect. III. Prop. XI. La meccanica insegna che la forza centrale F che opera da un punto sopra l' unità di massa di un corpo il quale descriva in un tempo T una elisse con un fuoco in quel punto e col semiasse maggiore a, è data per un certo istante, in cui il corpo abbia dal punto la distanza r, dalla formola:

$$F = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2} \cdot \frac{1}{r^2}.$$

Applicando la formola al moto di un pianeta intorno al sole, si vede che la forza centripeta solare sulla unità di massa del pianeta è in ragione inversa del quadrato della sua distanza r dal sole, giacchè il primo fattore del valore di F è costante per uno stesso pianeta.

(2) L'espressione suddetta della forza centrale, fattovi $r = 1$, diventa:

$$F = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2}.$$

Questo è il valore della forza centrale che il sole eserciterebbe sulla unità di massa dei diversi pianeti che fosse collocata alla distanza 1 da esso. Per la terza legge di Keplero il quozionte $\frac{a^3}{T^2}$ ha il medesimo valore per tutti i pianeti, dunque l'efficacia della potenza F è costante per tutti i pianeti.

neti è rappresentata da una medesima forza di attrazione la quale alle diverse distanze dei pianeti dal sole opera con intensità che è diversa unicamente per l'effetto delle distanze, giusta la norma di diminuzione che fu trovata rispetto ai diversi luoghi dell'orbita d'uno stesso pianeta. Così una unità di massa di tutti i pianeti, ove fosse ad una stessa distanza dal sole sarebbe attirata con forza eguale; e se l'attrazione che si esercita dal sole è minore sui pianeti lontani che sui vicini, è soltanto in conseguenza della legge inerente alla natura della attrazione, per cui l'intensità della forza diminuisce nella ragione inversa del quadrato delle distanze dal centro di azione. Vuolsi dunque ritenere che codesta attrazione è una identica potenza che opera con eguale intensità sulla materia di tutti i pianeti.

Le conclusioni a cui venne per il movimento dei pianeti intorno al sole, Newton le estese e le verificò anche nei movimenti dei satelliti di Giove e di Saturno intorno al loro pianeta. Così la potenza che torce in ogni istante il cammino che un corpo celeste farebbe in linea retta e con una velocità costante di projezione, e lo piega a farsi intorno ad un altro corpo con varia velocità, è una virtù attrattiva che si esercita di continuo da quest'altro corpo. Avviene dei pianeti rispetto al sole e di tutti i satelliti rispetto al loro pianeta quel medesimo che Newton aveva pensato della luna rispetto alla terra.

L'attrazione che la terra esercita, con la legge scoperta relativa alle distanze, deve pur estendersi fino al sole; d'altra parte la terra, essendo un pianeta, è attratta dal sole come tutti gli altri pianeti; dunque il sole e la terra si attraggono mutuamente. Giove, Saturno, Urano, Nettuno, attraggono i satelliti che circolano intorno a loro; però questi pianeti, non altrimenti della terra, devono attirare anche il sole mentre sono attirati da esso. Tali considerazioni portarono Newton a pronunciare che i corpi tutti, siano pur divisi nella immensità dello spazio da intervalli grandissimi, si attraggono mutuamente in ragione diretta delle loro masse e inversa del quadrato delle loro distanze. Quindi egli indusse che l'attrazione è proprietà generale della materia e che compete ugualmente a ciascuna minima particella, e proclamò il principio che *ogni molecola di materia attrae ciascun'altra molecola in ragione diretta della propria massa e inversa del quadrato della distanza dalla molecola attratta.* Ecco il principio della *attrazione universale* o *gravitazione.* Vedremo che non c'è fatto

omogeneo a quelli che servirono a stabilirlo il quale non si offerisca nell' esatta sua misura come una conseguenza necessaria di esso.

In questa grande scoperta, Copernico e Galileo condussero a ravvisare di mezzo alle varie forme *apparenti* dei fenomeni, la loro forma *vera;* Ticone-Brahe e gli antecessori suoi somministrarono *le misure degli elementi* dei fenomeni; Keplero ne trasse le *leggi* dei fenomeni; Newton definì la *forza* che li produce.

330. *Considerazioni sull'attrazione universale.* Esaminiamo a parte a parte la formola della gravitazione.

1.° *Ogni molecola di materia attrae ciascun'altra molecola.* Essendo l'attrazione una virtù inerente del pari a ciascheduna molecola, ne segue che la forza con cui un corpo attira un altro corpo è precisamente uguale alla forza con cui quest'altro attira il primo. Ci giovi una immagine. Si consideri da una parte una molecola sola e dall'altra parte, a distanza qualunque, un corpo di mille molecole, uguali ciascheduna in massa a quella che supponiamo sola. Si dica 1 la forza con cui una molecola attira l'altra alla distanza suddetta. La molecola che è sola risente l'attrazione 1 da ciascheduna delle mille molecole del corpo; è dunque attirata con una forza eguale a mille unità. Ciascheduna molecola del corpo risente dal canto suo l'attrazione 1 dalla molecola isolata; il complesso delle molecole, o il corpo, è dunque attirato con tante unità di forza quante sono le molecole sue, o con mille unità di forza. Ragionando analogamente per tutti i casi immaginabili, si conchiude in generale che le forze di attrazione che si esercitano fra due corpi sono eguali tra loro ed operano in direzione contraria. Una mosca tira verso di sè il globo terracqueo con tanta forza con quanta il globo terracqueo tira verso di sè la mosca. Se fosse dato di fermare dai loro moti la terra e la luna, e di porvi frammezzo, lungo tutto lo spazio, una verga inflessibile, sarebbe questa verga ugualmente premuta ad ambedue le estremità e resterebbe immobile. Ma queste due forze eguali non devono però indurre uguali velocità nei due corpi quando essi abbiano massa diversa, bensì devono indurre una velocità maggiore nel più piccolo, una minore nel più grande (§ 26). Se la luna e la terra, fermate prima come sopra, si lasciassero in balìa della mutua loro attrazione, esse moverebbero insieme l'una verso l'altra, ma con velocità molto diverse; la

luna sarebbe la più veloce, e tanto più veloce della terra quanto più piccola è la sua massa rispetto alla massa della terra.

2.º *In ragione diretta della propria massa.* Per questa parte della legge e per la antecedente si vede che, ritenuta costante la distanza tra due corpi, l'attrazione mutua è tanto più grande quanto maggiori sono le masse dei corpi. Ma si avverta bene che altro è l'effetto delle masse sulle velocità con che i due corpi si moverebbero ad avvicinarsi tra loro, ed altro l'effetto delle masse sulla grandezza della trazione uguale con che i due corpi tendono l'uno verso l'altro. La velocità del moto dipende solo dalla massa attraente e per nulla dalla massa attratta. Suppongasi che la luna cresca di massa quanto si vuole, non varia punto per ciò la velocità ond' ella cadrebbe verso la terra se fosse libera; questa velocità bensì crescerebbe se venisse aumentata la massa della terra. La grandezza invece della trazione dei due corpi l'un verso l'altro dipende insieme dalle masse di entrambi; ed è in ragione diretta del prodotto delle due masse. La luna e la terra, supposto che siano ritenute fisse in due luoghi dello spazio, crescano di massa; la luna, per esempio, diventi tripla, la terra quadrupla di ciò che erano prima; le trazioni reciproche uguali dei due corpi, o le uguali pressioni ch'essi farebbero sugli ostacoli che li impedissero di avvicinarsi l'uno all'altro, diventeranno 12 tanti di prima.

Il fatto che l'attrazione mutua dei corpi cresce sempre in ragione diretta delle masse, inchiude la mirabile proprietà che l'attrazione di cui è capace una molecola materiale è inesauribile. Cresca quanto si vuole la materia nel mondo, quell'una molecola attirerà anche la materia aggiunta con la stessa forza che la materia di prima (1).

3.º *In ragione inversa dei quadrati delle distanze.* Se la distanza tra due molecole semplici cresce successivamente come i numeri 1, 2, 3, 4,... 10, la forza con che le molecole si attraggono l'una l'altra va diminuendo come i numeri 1, $^1/_4$, $^1/_9$, $^1/_{16}$, ... $^1/_{100}$.

Quello che si dice delle molecole semplici dee valere anche

(1) Pare che alcuni gran professori non vedano questo carattere della gravitazione. Essi accolgono con un sorriso di intelligente compiacenza la notizia che si è scoperto de' nuovi pianeti, e lasciano cadere una parola che accenna alla rovina del principio newtoniano, facendo pur intendere che il principio da sostituire essi per buona sorte lo tengono pronto. Costoro hanno proprio fisso che l'attrazione solare sia come la minestra che allo scoprirsi di commensali inaspettati non basta più per tutti, e il pranzo è bello e rovinato.

per i corpi sferici, quando ciascuno abbia densità uguale in tutte le sue parti, o almeno abbia densità uguale in tutti i luoghi equidistanti dal centro. E la ragione sta nella simmetrica distribuzione delle molecole materiali tutto all'intorno del centro di ciascuna sfera. Diffatti componendo insieme tutte le particolari attrazioni esercitate dalle diverse molecole di una di tali sfere verso un punto esteriore qualunque, si ha una forza complessa quale si avrebbe se tutta la massa del corpo fosse costipata nel centro di figura [1]. Se dunque la materia delle due sfere che si attraggono venisse a condensarsi nei due centri delle sfere medesime, la condensazione non importerebbe verun cangiamento nella grandezza della attrazione; e ciò qualunque fosse la distanza delle due sfere, onde rimarrebbe salva anche la legge relativa alle distanze. I corpi celesti hanno figura prossimamente sferica, ed è probabile che la materia vi sia distribuita in modo pressocchè simmetrico all'intorno del centro, quindi si può, rispetto alle mutue attrazioni, supporre che le masse loro siano riunite nei rispettivi centri di figura, la qual cosa torna molto comoda nei calcoli astronomici.

Osserviamo qui come nella naturale filosofia le dottrine, mano mano che ascendono, mandano una luce di verità sugli argomenti che le sorreggono. Newton nel ricercare come varia la forza di gravità al variare delle distanze, suppose che la forza abbia sua sede nel centro della terra, e da questo centro computò le distanze sì dei corpi che sono alla superficie terrestre e sì della luna (§ 329). Adesso la supposizione di Newton si trova giustificata dalla legge medesima ch'ella servì a rivelare, giacchè per questa legge si può ammettere nei calcoli che tutta la massa del globo sia costipata nel suo centro.

Newton in codesta ricerca ci diede un bell'esempio della prudenza con la quale i forti si consigliano anche nelle più ardite speculazioni. Quand'egli, nel 1666, prese a cimentare col calcolo il teorema fondamentale del suo concetto, che è appunto la legge con cui diminuisce l'attrazione terrestre al crescere della distanza, si attribuiva al raggio della terra, elemento necessario del calcolo (§ 329, nota a pag. 235 e seg.) un valore al di sotto del giusto, e il risultato del calcolo non fece allora pieno riscontro alla pensata. Newton mise da canto l'alto concetto; lo mise da canto egli che ben vedeva quante mirabili rispondenze offerisse con la realtà delle cose, e quale

(1) Newton. *Princip. Mathem.* Lib. I, pag. 74.

splendido legame rivelasse tra molti e molti fenomeni; lo mise da canto perchè la ragione del calcolo non lo ratificava a capello in una sua parte. Sedici anni passarono. Nel 1682, avendo il francese Piccard, per sue operazioni geodetiche, trovato un valore del raggio della terra meglio approssimato al vero, Newton rifece il calcolo, e, veduto questa volta che la pietra angolare era ben ferma, costruì il magnifico edificio. Andatelo a dire a certi tali! Vi schicrano li cento ed una opere loro, cento ed uno sogni d' infermo.

331. *Definizione della gravità.* Il principio newtoniano servì a definire la gravità in modo generale. La successione de' pensamenti che ci condusse a tal punto è bellissimo esempio delle norme generali da noi addotte circa la spiegazione dei fenomeni per nesso causale e per forze. Eccola.

Il peso dei corpi, l'oscillare del pendolo si risolvono nella tendenza dei corpi verso il globo, della quale si ha la manifestazione libera nella caduta dei gravi nel vuoto. La tendenza dei corpi verso il globo è già un fenomeno di cui non sappiamo trovare una causa sensibile; esso inoltre è semplicissimo; però lo spieghiamo ammettendo una potenza speciale (§ 241), cioè la *forza* appellata di gravità.

Ora vuolsi definire questa forza (§ 244). In quanto alla direzione, essa agisce evidentemente secondo la verticale (§ 37). Dalla legge del moto dei gravi cadenti (§ 39) la meccanica razionale argomenta che la forza di gravità, dentro i limiti di altezza delle nostre esperienze, opera sui corpi di continuo e con intensità costante. La forza di gravità dunque, dentro quei limiti, appartiene al genere delle forze acceleratrici costanti. Il valore poi della velocità del moto ch'essa produce in un certo luogo (§ 40), servendo a rappresentarla con un numero, che la distingue da tutte le altre del medesimo genere, ne completa la *definizione meccanica per quel luogo.*

Ma fin qui la definizione della forza non è generale. D'onde mai le differenze di intensità della forza (§ 41) nelle diverse latitudini e nelle diverse altezze dal livello del mare? Il genio di Newton soddisfece alla dimanda, nel tempo stesso che ha dimostrato non essere la gravità che un caso particolare di quella attrazione che regge in tutte parti del nostro sistema planetario.

La gravità dei corpi nasce dalla attrazione reciproca tra le molecole dei corpi e il gran numero delle molecole del globo. La sede della gravità è dunque propriamente in ogni molecola

del globo. La direzione che tengono verso il centro di questo i gravi cadenti è una conseguenza della composizione delle forze attrattive che operano fra le molecole loro e le molecole del globo considerato come simmetrico sì nella forma e sì nella distribuzione della massa, cioè come avente una densità uguale in ogni parte, o diversa ne' diversi strati concentrici ma uguale in un medesimo strato. In ambo i casi, e quest'ultimo è molto probabilmente quello del nostro globo, la meccanica dimostra che si può, in riguardo all'azione del globo sui gravi alla superficie, supporre che tutta la massa del globo sia compenetrata nel suo centro. Solo in tale senso è lecito di considerare il centro della terra come sede dell'attrazione.

Il peso di un corpo è la risultante delle forze attrattive che operano fra tutte le molecole del globo e tutte le molecole del corpo.

Il diminuire della gravità al crescere delle altezze sul livello del mare, ossia al crescere delle distanze dal centro della terra, è una legge compresa nel principio stesso della gravitazione, è un fatto che servì a caratterizzare la forza.

Circa la causa del decremento della gravità dai poli all'equatore fu avvertito che il moto rotatorio del globo, mettendo una diversa velocità nelle varie parti della superficie terrestre e nei corpi che vi si trovano, deve generare in essi, per l'inerzia della materia, una forza centrifuga diversa la quale contrasta alla forza centripeta di gravità. Ora, quanto più dai poli si procede verso l'equatore, tanto più diventa gagliarda per sè la forza centrifuga e tanto più direttamente essa contrasta alla gravità. Si calcolò l'effetto di codesta forza centrifuga all'equatore dove è massimo, e si conobbe che ivi la gravità ne vien diminuita di $^1/_{289}$ della gravità al polo [1]. Tale diminuzione è minore del decremento reale, dunque bisognò dire che vi abbia qualche altra causa di diminuzione, e fu ravvisata nella forma della terra, la quale depressa ai poli ed elevata all'equatore fa che i corpi si trovino di più in più discosti dal centro della terra mano mano che si procede dalle superficie polari alle equatoriali, onde si verifica in essi per questo verso an-

(1) Di qui si computa che a dare una forza centrifuga la quale sull'equatore pareggi la gravità, sarebbe mestieri che la velocità di rotazione della terra fosse quasi 17 volte quella che è. La forza centrifuga all'equatore è $1/289 = 1/17^2$ della gravità, e siccome la forza centrifuga è in ragione dei quadrati della velocità di rotazione, così perchè la forza centrifuga cresca fino a pareggiare la gravità intiera, conviene che la velocità di rotazione cresca a 17 tanti.

che la maniera di variazione che dipende dalle crescenti distanze dal centro della terra. L'effetto di questa causa, valutato dietro la notizia della diversa lunghezza del raggio polare e dell'equatoriale (§ 254), fa completa appuntino la spiegazione del decremento della gravità all'equatore.

La gravità indicata dapprima (§ 56) come la proprietà dei corpi di cadere o tendere a cadere verso la terra, si deve ora considerare come un fatto particolare di gravitazione, e può definirsi così: *la tendenza dei corpi terrestri verso il globo, a motivo dell'attrazione universale, modificata alcun poco dalla forza centrifuga indotta dal moto rotatorio del globo medesimo.*

Dal principio della gravitazione la meccanica deduce che per i corpi situati nell'interno del globo la gravità è proporzionale alle distanze ch'essi hanno dal centro del globo. In un corpo al centro del globo l'effetto della gravità è nullo, perchè ivi le attrazioni della materia terrestre sul corpo si fanno equilibrio per ogni verso all'intorno.

Le dottrine qui esposte depurano il concetto di gravità, riducendo al giusto valore le leggi somministrate dalla esperienza. La forza di gravità, in un corpo che cade da una certa altezza al di sopra della superficie della terra, non è a tutto rigore una forza acceleratrice costante, ma è una forza acceleratrice crescente, giacchè il corpo nel cadere si avvicina sempreppiù al centro della terra. Dunque la caduta libera del corpo nel vuoto non è un moto uniformemente accelerato; l'accelerazione vi cresce di continuo e in ragione inversa del quadrato della distanza dal centro del globo. Che se il corpo discende nell'interno della terra, come quando cade per un pozzo profondo, l'accelerazione va diminuendo nella medesima ragione che il corpo si avvicina al centro del globo.

Siccome ogni corpo è esteso, cioè occupa con le sue diverse parti luoghi diversi dello spazio, così a tutto rigore la gravità non tira con la medesima forza ciascuna molecola del corpo, e non tira tutte le molecole in direzioni parallele; dunque non è vero a tutto rigore che i pesi delle parti di un corpo siano proporzionali alle loro masse, e ciò che dicesi il centro di gravità di un corpo non coincide col centro di massa.

Ma tutte queste differenze, atteso le piccole altezze da cui cadono ordinariamente i corpi in confronto alla lunghezza del raggio terrestre, e atteso le piccole dimensioni dei corpi, riescono così menome che in pratica non è da farne conto alcuno.

Non voglio ommettere un' altra osservazione che parrà superfluamente sottile, ma ch' io stimo non inutile se vale a rappresentarsi le cose quali sono in realtà. È bensì vero che l'attrazione fra un corpo terrestre e il globo è mutua ed uguale, onde torna lo stesso, in quanto all'effetto, il riguardare un grave come passivo ed attirato dalle molecole del globo, o come attivo e tendente per sua virtù verso quelle molecole; parmi però che sia meglio conforme al vero il secondo modo. I corpi sono indotti a moversi, ed a presentare un fenomeno qualunque, dalle potenze che hanno sede in loro, le quali passano all'atto con la legge della inerzia quando ad esse corrisponde l'azione di altre potenze simili al di fuori.

332. *Attrazioni vicendevoli dei corpi terrestri. Densità media del globo.* Se vi ha, come dice il principio di Newton, una attrazione universale della materia verso la materia, perchè due corpi appesi a due fili vicini non si accostano l'uno all'altro? perchè i corpi posati su d'una superficie orizzontale levigatissima non movono ad incontrarsi ma stanno ai loro posti? Egli è che la vicendevole attrazione dei due corpi è assai piccola in confronto dell' attrazione vicendevole di essi e del globo, quindi nell'un caso il ravvicinamento dei fili sfugge all'occhio, nell'altro caso il moto dei corpi è impedito dalle scabrezze che ha pur sempre il piano di sostegno, e l' impedimento è proporzionale alla pressione dei corpi sul sostegno, cioè alla grandezza della gravità. E perchè una pietra che si lasci cadere dal vertice altissimo di un monte lungo il fianco tagliato a picco si dirige, non verso il monte che è pure vicino, ma verso il centro della terra che è lontano? Egli è che la massa del monte, per quanto sia grande, è un nonnulla in confronto della massa del globo. L'attrazione del monte può solo deviare un pochissimo dalla verticale la direzione del grave cadente. Questo deviamento, chi lo sapesse mai osservare, sarebbe una conferma delicata dell'attrazione universale. Ebbene, le attrazioni vicendevoli dei corpi terrestri furono riconosciute per le influenze che hanno sì nella direzione come nella energia della gravità, e si potè anche ottenere da esse l' effetto di movimento.

1.° *Influenza nella direzione della gravità.* Bouguer fu il primo a tentare la prova. I monti, diss' egli, se esercitano attrazione, devono deviare dalla verticale il filo a piombo collocato al loro fianco; ma per che modo accertare la deviazione? Forse mediante il riscontro con la superficie delle acque tranquille? No, giacchè la causa che alterasse la direzione del filo

dovrebbe alterare anche la giacitura della faccia delle acque, riducendola sempre, per legge di equilibrio, ad essere perpendicolare a quella direzione (§ 37). La deviazione del filo si conosce dal confronto con le visuali alle stelle: bisogna volgersi ai punti fissi della vôlta celeste per segnare una direzione indipendente dalla gravità, quale vuolsi per termine di paragone in questa ricerca. Bouguer fece le sue osservazioni nel 1737 sui fianchi del Chimboraço al Perù; ebbe forti ostacoli dalle asprezze dei luoghi e dalle bufere terribili in così alte regioni; ma l'operosità paziente vince tutto; egli verificò nel filo a piombo una deviazione di 7″ ad 8″ dalla verticale.

Nel 1772 l'astronomo inglese Maskeline, con una serie di osservazioni alle falde del monte Schehallien in Iscozia, trovò che l'attrazione del monte induce nel filo a piombo la deviazione di 5″,8. Fecero osservazioni simili presso altri monti il Boscovich, il P. Beccaria, il barone di Zach...

Lo scopo delle ricerche di Maskeline era di valutare la massa del globo terrestre, e determinare quindi la densità media di tutto il globo. Col paragone delle attrazioni del globo e del monte Schehallien trovò egli il rapporto delle loro masse; poi con la notizia di tale rapporto e della massa del monte, la quale si ottiene misurando il volume di esso ed esplorandone la densità media, calcolò quale sia la massa del globo, e siccome il volume del globo è noto (metri cubici 1083 trilioni), ebbe tosto conosciuta la sua densità media. Tale densità, giusta i calcoli fatti da Hutton, risultò 4,5, essendo 1 quella dell'acqua. Playfair, dopo un nuovo esame della densità media del monte, recò il numero a 4,713. Fu questa la prima nozione che si ebbe intorno alla quantità di materia delle parti interne del globo.

2.º *Influenza nella energia della gravità.* Nel 1823 l'astronomo di Milano Carlini fece al medesimo intento osservazioni d'altra maniera. Egli trovò la lunghezza del pendolo a secondi all'ospizio del monte Cenisio, la ridusse al livello del mare, e la confrontò con la lunghezza del pendolo a secondi di Bordeaux ridotta alla latitudine del Cenisio. Le due lunghezze ridotte non tornarono eguali; quella del Cenisio riuscì un poco maggiore, il che dimostra essere ivi l'attrazione un po' rinforzata se il pendolo per battere i secondi vuol'essere fatto un po' più lungo. L'astronomo attribuì la differenza delle due lunghezze all'attrazione del monte; e paragonando poi questa azione

del Cenisio, del quale valutò coi dati geodetici e geologici la massa, all'azione del globo, ebbe, per i calcoli da lui rifatti ultimamente, la densità media del globo rappresentata da 4,65.

3.º *Movimenti*. La prova più diretta dell'attrazione reciproca dei corpi terrestri si ha nella esperienza immaginata da Michell, eseguita da Cavendish, e ripetuta da Reich e da Baily.

Un'asta orizzontale, appesa in bilico nel suo mezzo ad un filo metallico, porta alle estremità due piccole palle di piombo, e trovasi naturalmente disposta in quella linea *di riposo* che il filo si rimane senza torsione. A ciascuna delle due piccole palle si accosta ad uguale distanza, ma da parti opposte, un grosso globo pure di piombo, e si vede che subito l'asta si gira per le attrazioni che risentono le palle, ciascuna verso il rispettivo globo. L'asta movendosi torce il filo a cui è appesa, e siccome la resistenza del filo alla torsione cresce più rapida che non l'attrazione dei globi, così queste due forze contrarie vengono presto ad uguagliarsi; a tal punto l'asta si trova in una linea che può appellarsi *di equilibrio*. Non cessa però il movimento, ma continua per l'inerzia fino a tanto che la forza con cui il filo tende a distorcersi la quale si fa sempre maggiore estingue del tutto la velocità. Allora il filo si distorce, l'asta retrocede, arriva un'altra volta nella linea di equilibrio, e va oltre dalla parte opposta finchè, estinta di nuovo la velocità, torna a portare le palle presso i due globi. Così le palle e l'asta costituiscono un pendolo orizzontale che va facendo una serie di oscillazioni intorno alla linea di equilibrio, la cui direzione è segnata dai punti di mezzo degli archi percorsi dalle due palle. L'angolo compreso dalla linea di riposo e dalla linea di equilibrio rappresenta l'effetto puro dell'attrazione dei due globi di piombo. Dalla durata delle oscillazioni poi si deduce la forza con che il filo tende a storcersi quando il sistema oscillante è nella linea di equilibrio, e questa forza è appunto la misura della attrazione suddetta. Si conosce dunque la forza di attrazione esercitata da ciascuno dei globi di piombo sulla palla vicina. Se ora si paragona codesta forza di attrazione col peso di questa palla, il quale è la misura dell'attrazione esercitata dalla terra intiera sulla palla medesima, e si fa ragione della differenza tra il raggio terrestre e la distanza della palla dal globo di piombo (da centro a centro), si può trovare il rapporto tra la massa della terra e quella del

globo di piombo, e quindi il valore della densità media della terra (1).

Meritano d'essere notate le cautele di Cavendish per tenere immune la bilancia dalle agitazioni fortuite dell'aria, o da quelle che fossero indotte dal movimento dei globi e dal calore della persona o del lume. La bilancia era chiusa in una cassa di legno; i due globi di piombo al di fuori; e il tutto in una piccola casa lontana dai rumori. Cavendish fuori della casa moveva i due globi per un conveniente meccanismo, e con un cannocchiale incastonato nel muro osservava le oscillazioni della bilancia, guardando un capo di essa illuminato dalla luce che una lampada esterna vi mandava per un pertugio armato di lente.

Il calcolo di Cavendish assegnò alla terra una densità media di 5,48 volte quella dell'acqua. Edoardo Schmidt, riveduto il calcolo, recò il numero a 5,52. Reich, professore di Freyberg, per esperienze simili fatte con un altro meccanismo, ottenne 5,44. I computi di Baily istituiti sulla media di 2153 sue esperienze diedero 5,6747 (2).

Newton aveva già intraveduto che la densità media del globo è tra le 5 e le 6 volte quella dell'acqua.

Il peso del globo terracqueo, ritenuta la densità media di 5,48, è di chilogrammi cinque quadrilioni, novecento trenta mila trilioni (593 con ventidue zeri). Ma quale concetto dobbiamo formarci della operazione di pesare il globo? Questo: prendere successivamente a piccoli pezzi, per esempio, d'un metro cubico l'uno, tutta la materia del globo, metterne un pezzo in una bilancia, pesarlo, e poi rimetterlo a suo posto affinchè contribuisca ad attirare ciascun altro che si pesa, e così di seguito per tutti, giacchè quando facciamo una pesata tutte le molecole del globo cospirano a destare il peso nel pezzo che è sulla bilancia.

Ove si noti che l'acqua del mare che copre tanta parte della faccia del globo e ne occupa le cavità maggiori ha il peso specifico 1,0263, e che le roccie componenti la crosta terrestre,

(1) La maniera più diretta di fare il calcolo è di paragonare la lunghezza del pendolo orizzontale di Cavendish con la lunghezza di un pendolo ordinario la cui oscillazione duri quanto quella del pendolo di Cavendish; si ha subito dal paragone il rapporto dell'attrazione di ciascuna sfera alla gravità, e quindi il rapporto della massa di una di tali sfere alla massa della terra.

(2) *Società astron. di Londra*, 10 giugno 1842, n° 24.

il calcario, il quarzo, il felspato, hanno un peso specifico di circa 2,5, e che i metalli più pesanti sparsi in questa crosta sono in poca dose, appare pei valori addotti della densità media del globo, che le interne materie di questo sono molto più dense che le materie alla superficie. Così il pendolo ordinario e la bilancia di Cavendish sono due scandagli delle profondissime parti del globo.

333. *Flusso e riflusso del mare.* Una magnifica prova della vicendevole attrazione dei corpi è la *marea*, o il *flusso e riflusso del mare*, quel movimento delle acque marine che si alzano due volte al giorno e due volte si abbassano. Per circa sei ore si alzano, invadendo le spiaggie, è il flusso; rimaste così alcun poco, nelle seguenti sei ore si abbassano ritirandosi, è il riflusso; poi torna il flusso, in seguito il riflusso, e via via alternando.

In questo fenomeno si osservano principalmente due periodi; uno diurno, l'altro mensile. Il diurno si è che il flusso e riflusso avvengono ciascuno due volte in circa 24 ore e 50 minuti, il quale corso di tempo è giusto quello in che la luna fa l'apparente suo giro diurno intorno alla terra. E v'ha inoltre questa corrispondenza, che il flusso di un luogo tocca la sua più grande altezza sempre un certo tempo dopo che la luna passò il meridiano del luogo, lo abbia ella passato al di sopra o al di sotto dell'orizzonte; e il riflusso di quel luogo discende all'altezza minima appunto un egual tempo dopo che la luna è sorta o tramontata. Così il ritorno delle fasi non cade nelle medesime ore da un giorno all'altro, ma si trova in ritardo di 50 minuti ad ogni giorno. Il periodo mensile si è che il flusso e il riflusso tornano più grandi poco dopo il novilunio e il plenilunio che poco dopo le quadrature (alta e bassa marea).

Furono poste in campo molte ipotesi a spiegare codeste fluttuazioni regolari dell'oceano. Sebbene la relazione che tengono coi moti della luna sia stata avvertita fin dalla più remota antichità, fu Keplero il primo a proferire che dipendono principalmente dall'azione del nostro satellite. Newton in seguito dimostrò che la dipendenza risponde così bene alle leggi della gravitazione da non poterla più revocare in dubbio.

Il fenomeno è prodotto da due cause: l'attrazione della luna e quella del sole, ma in maggior parte dalla prima. Vediamo quale sia l'effetto dell'azione della luna, poi come venga esso modificato dall'azione del sole.

Si supponga per semplicità che la terra sia perfettamente

rotonda, e l'acqua dei mari la involga tutta quanta, formando uno strato di uniforme grossezza, come richiede l'equilibrio per l'attrazione ch'ella risente verso il globo solido della terra (fig. 234).

Fig. 234.

La luna, il più vicino dei corpi celesti, col potere attrattivo della sua massa deve cangiare la disposizione suddetta delle acque. Se la luna operasse con la sua attrazione d'una maniera uniforme su ogni parte della mole terracquea, cioè se tirasse con forze uguali e parallele tutte le molecole di terra e di acqua del globo, non tenderebbe a turbare l'equilibrio rispettivo delle molecole stesse, tenderebbe solo a moverle tutte del pari, cioè a movere il sistema tutto quanto senza punto alterare la forma ch'esso tiene per la mutua attrazione delle sue parti. Ma la luna esercita attrazioni diverse e nella intensità e nella direzione sulle diverse parti del nostro globo, e però le acque del mare, che come sono di particelle mobilissime e scorrevoli, cedono di leggieri agli impulsi parziali, devono per codeste diverse attrazioni, moversi diversamente ne' diversi luoghi, e così la loro giacitura sulla faccia terrestre non può serbarsi uniforme quale si è supposta. Diffatti, in quanto alla intensità dell'attrazione lunare le acque delle parti (Cc, fig. 234) che si trovano direttamente sotto la luna (L), e sono le meno lontane da essa, ne vengono attirate con maggior forza che non il centro (T) della terra che è più distante, e invece le acque (Aa) corrispondenti alle suddette nell'opposto emisfero, che sono le più lontane dalla luna, ne vengono attirate con minor forza che non il centro della terra. E in quanto alla direzione le acque che si trovano sui fianchi del globo fuori della retta (LCTA) che passa per i centri della terra e della luna, sono attirate dalla luna in direzioni convergenti al centro suo; ed il convergere di queste direzioni importa nelle molecole dello strato d'acqua una tendenza a scorrere in ciascun emisfero verso la parte dove quella retta dei centri attraversa in esso la superficie terrestre (verso C nell'emisfero superiore, verso A nell'inferiore). Si vede che per tali differenze nella intensità e nella direzione, l'attrazione della luna deve tendere a mutare la forma del sistema terracqueo, allungandola ad ambo le parti (C ed A) in sulla retta dei centri, e deve mutarla in effetto ove le particelle si arrendono a moversi, cioè nella gran massa

delle acque marine. Dunque le acque correranno ad elevarsi verso quella retta sì nell' emisfero che guarda la luna e sì nell'altro opposto. Siccome però le acque sono tirate di continuo dalla gravità a tenersi raccolte e distribuite intorno al globo solido della terra nel modo uniforme che abbiamo supposto da principio, così non ponno arrendersi alla cagione che produce l'allungamento se non in quanto lo concede la gravità che tende a conservare nel sistema la forma sferica, la quale gravità si oppone tanto più poderosa col suo effetto di peso all'allungamento quanto più l'allungamento è cresciuto, onde finisce coll' impedire che cresca ancora. Ecco uno spostamento delle acque che dà al globo terracqueo la forma d'uno sferoide (fig. 235) alquanto allungato, il cui asse maggiore (AC) passa pel centro della terra nella direzione del centro della luna; ecco nelle parti prossime alle due estremità (C, A) dell'asse maggiore il mare alto del flusso, e nella zona intermedia (BD) il mare basso del riflusso.

Fig. 235.

Se la terra non si movesse, la luna, facendole il suo giro d'intorno in circa un mese, produrrebbe ne' luoghi terrestri ch' ella accerchia due sole elevazioni e due sole depressioni delle acque in un mese; ma per il moto rotatorio della terra che si compie ogni giorno, la luna viene a trovarsi ogni giorno due volte sul meridiano di ciascun luogo, una volta nell'emisfero superiore, una volta nell' inferiore, e così produce su ciascun meridiano due flussi e due riflussi al giorno. È questo il periodo diurno.

Se l'acqua fosse presta a moversi come la tirano le forze, darebbe sempre le due elevazioni massime nei due luoghi (C, A, fig. 235) della superficie terrestre dove passa la retta dei centri, e le due depressioni maggiori nei luoghi (B, D) equidistanti da quelli; e così il mare toccherebbe l' altezza maggiore quando la luna passa pel meridiano del luogo, la minore quando la luna tramonta, di nuovo la maggiore quando la luna ripassa pel meridiano sotto l'orizzonte, e da ultimo la minore quando la luna sorge; ma l'acqua per l'inerzia ha d'uopo di qualche tempo ad accogliere l' impulso e moversi, quindi è ch'ella non arriva alla sua maggiore o minore altezza in un luogo se non qualche tempo dopo ciascuno dei quattro istanti suddetti, cioè quando la terra girando ha por-

tato ogni volta quel luogo un po' oltre il segno (in F, in H; in E, in G; fig. 236). Per la stessa ragione dell'inerzia, compiuto il flusso od il riflusso, il mare sta un po' di tempo senza scendere o salire.

L

Fig. 236.

L'attrazione del sole sulla terra è molto più energica che l'attrazione della luna, ma siccome la distanza del sole è quasi 400 volte più grande che la distanza della luna, così le forze attrattive del sole sulle diverse parti del nostro globo riescono meno disuguali e meno lontane dall'esser parallele tra loro che le forze attrattive del nostro satellite. E poichè abbiamo veduto che la forma sferica di equilibrio del sistema terracqueo viene a mutarsi, non per le grandezze assolute delle attrazioni, ma per la differenza di tali grandezze al centro ed alla superficie della terra, e per la convergenza delle direzioni, è chiaro che il sole dev' essere meno valido della luna a produrre la marea. Si è calcolato che l' effetto del sole in questo fenomeno sta a quel della luna come 1 a 2,05 in circa.

Vi sono dunque in realtà due maree, una lunare l'altra solare. Esse, per le posizioni diverse che prendono successivamente il sole e la luna rispetto alla terra, talvolta si combinano insieme e si sommano, e talvolta si nuocono l' una all' altra. Quando è plenilunio o novilunio le azioni dei due astri sono cospiranti, e l'effetto sì di flusso come di riflusso è maggiore; ecco l'alta marea. Quando invece la luna è in quadratura, essa tende a sollevare le acque in que' luoghi che il sole tende ad abbassarle e reciprocamente; le azioni dei due astri sono opposte, e la prevalente, che è della luna, riesce a minore effetto; ecco la bassa marea. Ecco in somma il periodo mensile.

La luna si discosta dall' equatore non più di 28°, 1/2 e il sole non più di 23°, 1/2, perciò ne' luoghi la cui latitudine eccede queste misure il fenomeno riesce tanto più piccolo quanto più la latitudine è grande, e nelle regioni polari, a 65°, non è sensibile.

La maggiore o minore prossimità della luna alla terra influisce nella grandezza delle maree.

Le diverse distanze del sole dalla terra nel giro dell' anno, ed altre circostanze inducono nelle maree un terzo periodo che dicesi annuo.

Noi abbiamo rappresentato all' ingrosso le cause del feno-

meno; la Meccanica con ardui calcoli dimostra come tali cause siano adeguate al fatto in ogni tempo e in ogni luogo. Vediamo alcuni particolari.

Nel supposto che l'acqua dei mari sia distribuita uniformemente sulla faccia della terra, si calcola che per l'azione della luna la differenza di livello dal mare alto al basso, ne' luoghi dove l'ampiezza del fenomeno è massima, cioè la differenza tra il raggio maggiore e il raggio minore dell' elissoide, non deve passare metri 0,50. Computando poi anche l'azione del sole, si trova che quando essa cospira interamente con quella della luna la differenza di livello nell'alta marea deve ascendere a metri 0,74, e quando si oppone a quella della luna la differenza di livello nella bassa marea deve ridursi a metri 0,26.

Le ineguaglianze della superficie terrestre, e la maniera irregolare ond' essa è coperta dalle acque le quali sono trattenute dai continenti, e d'altra parte l'inerzia per cui le acque proseguono il corso oltre i termini delle forze, e insieme lo sfregamento diverso che patiscono sui fondi del mare, sono cagione di molte differenze nelle maree da luogo a luogo, sì riguardo all'ampiezza delle oscillazioni come riguardo al tempo delle fasi. In generale l'altezza dell'acqua varia tra limiti molto più estesi di quelli dati dal calcolo nel supposto di sopra; in certi luoghi delle coste di Francia varia di ben 15 metri. In un luogo il flusso ricorre due ore dopo il passaggio della luna pel meridiano, in un altro tre, quattro, dieci ore dopo, e più, ed il riflusso ritarda un egual tempo dal sorgere e dal tramontare della luna. Ed anche l'alta e la bassa marea non cadono proprio nei tempi del novilunio o plenilunio e delle quadrature, ma circa un giorno e mezzo più tardi.

Per le declinazioni ora boreali ora australi della luna e del sole, l'elissoide in che si dispone di continuo la superficie marina non dovrebbe serbare sempre i suoi assi di figura nel piano, dell' equatore terrestre, ma dovrebbe trasmutarsi alquanto portando gli assi ora da una parte ora dall' altra di quel piano. Avviene invece che codeste oscillazioni non sono quasi sensibili, giacchè per l' inerzia le acque tendono a perdurare nel movimento prodotto dalle azioni anteriori.

Nel Mediterraneo e nel Baltico la marea è quasi nulla, perchè le aperture che congiungono questi due grandi bacini coll'Oceano sono sì strette da non dar adito in breve tempo alle acque che bastino ad alzare sensibilmente il livello.

354. *Corso violento che può prendere il flusso marino ne-*

gli alvei dei fiumi. Il flusso fa incursione su per gli alvei dei grandi fiumi, e in certi luoghi, pur lontani dalla foce, può pigliare forme tremende. Entra nell'alveo e procede lento per lungo tratto, innalzando il livello a poco a poco, ma, salito a que' luoghi, ha ben altro aspetto. È un immenso maroso che si aderge arricciato e spumeggiante sulle acque del fiume, per tutto quanto è largo, e le corre velocissimo alla ritrosa, muggendo, flagellando le sponde ed invadendo le spiagge. Un naviglio assalito è perduto. Spettacolo strano! Sotto un limpido cielo, ai raggi del sole, tra un'aria tranquilla, sorgere d'improvviso, là nell'alto del fiume, a tanta convulsione le acque.

Nel tempo dell'alta marea il fenomeno è maestoso e terribile nella Senna presso Quillebeuf; lo si ha pure in alcuni luoghi della Scozia, dell'Inghilterra. La-Condamine descrive l'impeto che piglia nel fiume delle Amazzoni. Se ne trova menzione presso gli Antichi: in Omero per similitudine; in Quinto Curzio, che narra il naufragio toccato alla flottiglia di Alessandro Magno sull'Indo per cavalloni di mare accorrenti, in tempo di calma, nel bacino del fiume [1]; narrazione che si ebbe per favolosa, ed ora si vede che può essere veridica.

Ma come mai il flusso, che nelle parti più in giù verso la foce non è minaccioso, può in que' tratti dell'alveo levarsi in tanto furore? Lagrange e in seguito Young col calcolo, e Russel con le osservazioni e con le esperienze, accertarono che le onde si propagano lente dove l'acqua è poco profonda, veloci dove molto profonda. Si può, direi quasi, scandagliare la profondità di un lago o di un canale, destandovi delle onde e misurando la velocità con che si propagano. Per questo modo si valutò essere di 60 metri la profondità della Manica tra Plymouth e Boulogne, e nell'Atlantico e nel Pacifico, dove le onde delle maree ne vanno anche a più di 600 chilometri l'ora, essere la profondità media di 4800 metri nell'uno, di 6400 nell'altro. Le prime falde del flusso marino entrato in un alveo di fiume rallentano dunque il loro corso ne' luoghi dove l'altezza dell'acqua va diminuendo, e però sono ivi raggiunte dalle altre che sorvengono, le quali, salite sopra le prime, le vincono di velocità, perchè corrono in un'acqua più alta e perchè patiscono meno resistenza al moto, portate da acqua che già si move nella medesima loro direzione; e queste alla lor volta sono raggiunte e sormontate dalle successive

1) *Q. Curtii Rufi, De rebus gestis Alexandri Magni.* Lib. IX, § IX.

che possono correre ancora più, e così via via, finchè le ultime, ricadendo sul davanti delle prime, danno alla fronte del maroso enorme, composto di tutte, l'aspetto di una cataratta che rimonta in gran foga il fiume. La spiegazione è giustificata dal fatto che il fenomeno si forma in quelle parti dell'alveo dove l'altezza delle acque va diminuendo, e si dilegua nelle parti dove l'altezza delle acque va crescendo.

335. *Flusso e riflusso atmosferico.* L'attrazione della luna e del sole ha potere sull'aria non altrimenti che sull'acqua, dunque vi dev'essere anche un flusso e riflusso atmosferico. Noi collocati in fondo a questo oceano dell'atmosfera non possiamo vedere le mutazioni che ricorrono alla superficie sua; bensì potremmo averne segni dalla pressione dell'aria misurata al barometro, se il fenomeno fosse abbastanza grandioso da produrli. Ci sarebbe un aumento della pressione durante il flusso, un decremento durante il riflusso. Ma il fenomeno è troppo piccolo per indurre sensibilmente, almeno nei nostri climi, codeste variazioni periodiche del barometro. L'aria non è raccolta fra continenti come l'acqua dei mari; essa circonda il globo in modo uniforme; perciò il flusso atmosferico non può salire alla grande altezza a cui viene qua e là il flusso marino per circostanze locali. La differenza massima di altezza nell'aria dal flusso al riflusso non può essere gran fatto maggiore di quella che la teoria assegna all'acqua, nel supposto che essa pure involga alla libera tutto il globo. Così nel tempo di plenilunio e di novilunio l'altezza della colonna atmosferica in un luogo non può variare che di circa metri 0,74 (§ 333). Ora è noto che l'aumento di un metro nell'altezza dell'aria, presso la superficie della terra, dà solo un aumento di circa un decimo di millimetro nell'altezza barometrica (§ 47, 2.°). Dunque le oscillazioni indotte nel barometro dal flusso e riflusso dell'aria nelle altissime regioni dell'atmosfera, dove l'aria è rarissima, sono sì piccole da non poterle distinguere in mezzo alle variazioni irregolari ben maggiori che alle nostre latitudini vi sono eccitate dalle altre vicende atmosferiche. All'equatore, dove le variazioni irregolari sono piccole o mancano del tutto (§ 46), parve in questi ultimi tempi che l'altezza barometrica, quando la luna varca il meridiano, superi a qualche millesimo di pollice quella che si ha quando la luna tocca l'orizzonte.

336. *Vanità delle influenze lunari.* È chiaro che le influenze della luna sul nostro globo, per quanto dipende dalla attra-

zione, non possono esercitarsi che sopra un'ampia distesa, dove le differenze della forza abbiano campo di riuscire sensibili. Un lago non patisce flusso e riflusso perchè l'estensione sua è troppo piccola. L'effetto della luna sull'atmosfera, o il flusso e riflusso atmosferico, è sì lieve che si dubita dia qualche segno di sè alla superficie della terra. Che dire dunque di quelle influenze che ogni dì udiamo attribuirsi alla luna sugli umori del nostro cervello, sulle malattie nostre e degli animali, sulle uova, sulle piante, sul buono e cattivo tempo, e fin sulle pietre? Che dire di quelle pratiche di medicare che ricevono legge dalla età della luna? E di que' precetti per le seminagioni, per la vendemmia, pel taglio dei capelli e dei legni da opera, e per salare le carni; e di quei pronostici, anzi predizioni infallibili, sulla durata della pioggia, del sereno, del vento; precetti e predizioni al tutto dipendenti dal giro del nostro satellite? L'attrazione lunare non entra certo per nulla in queste cose. Una pianta, un ovo, ed anche il nostro cervello, sono piccoli troppo nello spazio, da risentire l'influenza squilibrante delle attrazioni disuguali della luna. Ma si risponde: se non ci può l'attrazione, ci può bene il mutarsi la luna da un mese all'altro, e ci possono bene le fasi di ogni luna. Oh la luna di tal mese è per ventura quella medesima di ogni altro mese; e le fasi non sono che le mutazioni della parte illuminata, la quale ora è tutta visibile a noi, ora non tutta, ed ora nulla affatto. In ogni fase, in ogni istante la luna è là tutta intera, e se ci manda luce o da poca o da molta parte, che mai volete che faccia questa differenza altro che una differenza di illuminazione? Della differenza di calore già non accade parlare; i termometri più delicati appena la sentono. Ma si replica: sapete voi che la luna non abbia altri modi, oltre quelli dell'attrazione, della luce, del calore, con che operare diversamente sulle cose terrestri ne' diversi periodi del suo moto? E si aggiunge in tono di trionfo: i fatti son fatti, e il non sapere spiegarli non li distrugge... Sì certo: la luna può agire sulle cose di quaggiù in mille modi altri dai suddetti; basti dirne uno: ella, come il sole e la terra, è calamita, e il suo magnetismo si palesa alle nostre bussole. Non io ardirò prefinire il numero delle cosmiche virtù. Ma veniamo ai fatti, che n'è tempo: veniamo ai fatti, l'esame dei quali si sarebbe dovuto premettere alla questione. I fatti non sussistono. Osservazioni regolari, continuate per lungo corso di anni, in molti luoghi diversi, non hanno mai offerto una prova di codeste

vantate influenze lunari. La fede, che troppi vi pongono ancora, è un avanzo della astrologia che vedeva piovere influssi da tutti i pianeti, e così dalla luna. Cotali preconcetti intorno al potere delle lune sarebbe oramai da gittarli, chè non solo son pazzi e ridicoli ma sono anche dannosi, come quelli che spesso trattengono dall' operare nei tempi che meglio conviene (1).

337. *Relazione tra la frequenza dei terremoti e il corso della luna*. Bensì pare che la luna abbia una influenza sui terremoti. È opinione generalmente ricevuta che il nostro globo, nella massima parte dell'interno, si trovi per altissima temperatura allo stato liquido o pastoso, e che la crosta solida sia di ben poca grossezza in confronto del raggio terrestre. La grande massa interna della terra deve dunque, al pari dell'oceano, risentire diversamente l' azione attrattiva della luna e del sole nelle sue diverse parti, e così deve tendere a rigonfiarsi alquanto in sulle direzioni dei raggi vettori dei due astri. Per tale tendenza essa preme dal di dentro in quelle direzioni la sottile crosta solida, e può forse produrvi delle rotture e delle scosse, cioè può produrre dei terremoti. A conoscere se questa cagione ha veramente effetto, vuolsi ricercare se i terremoti avvengono più frequenti nei tempi che la cagione opera con maggiore energia. La ricerca fu intrapresa non è molto da Perrey (2), e fin qui conduce verso l'affermativa. I confronti da lui istituiti in circa settemila osservazioni di terremoti occorsi nella prima metà del nostro secolo danno già a vedere che:

1.° i terremoti sono più frequenti nei tempi prossimi al novilunio e al plenilunio che nei tempi prossimi alle quadrature;

2.° il numero dei terremoti è maggiore mentre la luna è più vicina alla terra che mentre è più lontana;

3.° le scosse di terremoto ricorrono più spesso quando la luna è prossima al meridiano che quando è prossima all'orizzonte.

La raccolta delle osservazioni dei secoli passati e delle osservazioni avvenire porgerà argomento a più matura sentenza.

338. *Perturbazioni del moto dei corpi celesti*. I pianeti, se fossero attirati unicamente dal sole, si moverebbero in orbite

(1) A cessarli pubblicò non è molto in Verona un bel dialogo popolare *Sull'influenza della luna* il dottissimo Giulio Sandri.

(2) *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, 12 juin 1854.

elittiche regolari con un foco nel centro di quell'astro. Ma la gravitazione è forza universale; i pianeti anch'essi attirano dal canto loro il sole, e si attraggono pure l'un l'altro; perciò deviano alcun poco dalle orbite che percorrerebbero se fossero attirati unicamente verso un punto fisso. Le alterazioni del movimento elittico regolare di un pianeta intorno al sole, prodotte dalle attrazioni degli altri corpi celesti, si dicono *perturbazioni* o *ineguaglianze* del movimento. Anche il movimento di un satellite intorno al suo pianeta riceve perturbazioni dall'attrazione degli altri corpi e principalmente del sole.

Newton assegnò la legge del moto di un astro dotato di una velocità primitiva, il quale risenta l'attrazione di un altro astro, ma non tentò in generale il problema del moto di un corpo soggetto all'attrazione di due altri corpi. Questo problema è la chiave del grande subbietto delle perturbazioni dei movimenti celesti, e diventò celebre sotto il nome di problema dei tre corpi. Fu risolto la prima volta da Clairaut.

Le piccole ma pur molte deviazioni, che dopo la scoperta delle leggi di Keplero si ebbero a notare nei movimenti dei pianeti, si riguardarono sulle prime quali fenomeni da attribuirsi all'azione di qualche potenza diversa da quelle potenze che reggono il corso normale dei pianeti. Ma, rivelata l'attrazione universale, fu palese che il corso dei pianeti deve patire alcune ineguaglianze. Il calcolo poi ha definito le deviazioni che le attrazioni reciproche dei pianeti devono produrre nei diversi casi, e si trovò che esse rappresentano appunto le ineguaglianze reali. Così queste ineguaglianze furono spiegate, deposero l'apparenza di anomalie, si professero anzi come conseguenze necessarie della gravitazione, e diventarono le prove più delicate della sua verità.

A divisare bene il movimento complesso di un pianeta per l'azione del sole e degli altri corpi, si immagina un pianeta fittizio, il quale percorra con le leggi del moto elittico un'orbita i cui elementi si vengano mutando a poco a poco, e si considera il pianeta reale come se vada oscillando al di qua e al di là del fittizio dentro brevi confini. Codeste mutazioni successive degli elementi della elisse percorsa dal pianeta fittizio sono assai lente, si producono coll'andare de'secoli, e però si dicono *ineguaglianze secolari*. Le oscillazioni poi del pianeta reale al di qua e al di là del pianeta fittizio si dicono *ineguaglianze periodiche*.

Il lento diminuire della obliquità dell'eclittica per un moto

del piano di questa, e il girarsi lento dell'eclittica nel suo piano, per cui l'asse maggiore cangia direzione (§ 276), sono ineguaglianze secolari del moto della terra.

339. *Masse e densità dei corpi del sistema solare.* Il principio della gravitazione ci fece abilità di valutare le masse dei varii corpi del sistema solare. Ecco qualche cenno dei modi.

Cominciamo dal sole. Se fosse dato di misurare le due forze con che il sole e la terra attraggono una unità di massa a pari distanza, il rapporto delle due attrazioni esprimerebbe pure il rapporto delle masse dei due corpi attraenti. Le misure di codeste due forze noi le possiamo avere con esattezza. Un grave, cadendo liberamente alla superficie della terra per un minuto secondo, acquista la velocità di 9,m8088 (§ 40). Questo numero è dunque la misura della attrazione della terra sull'unità di massa che dista un raggio dal centro. Se la distanza del grave dal centro della terra fosse 23984 volte più grande, vale a dire se il grave si trovasse là dove è il centro del sole, l'attrazione della terra sarebbe rappresentata dal quoto che si ottiene dividendo 9,8088 per il quadrato di 23984, cioè da 0,0000000170518. D'altra parte si può dal moto della terra intorno al sole desumere la misura dell'attrazione, del sole sull'unità di massa presa nella terra, cioè alla distanza medesima che divide il centro del sole dal centro della terra [1]. Si trova ch'essa è 0,00605255. Così il rapporto delle attrazioni del sole e della terra alla distanza suddetta è quello dei numeri 0,00605255 e 0,0000000170518, ossia è 354936. Questo è dunque il rapporto tra la massa del sole e la massa della terra: la massa del sole è 354936 tanti la massa della terra; o, presa per unità la massa del sole, quella della terra è $^1/_{354936}$.

Passiamo ai pianeti accompagnati da satelliti. Dal moto di un satellite intorno al suo pianeta si deduce l'attrazione del pianeta sull'unità di massa del satellite. Questa attrazione si può, come abbiamo fatto di sopra, ridurre a quella che sarebbe per una distanza uguale alla distanza della terra dal sole, e allora paragonandola all'attrazione del sole sull'unità di massa della terra, si viene a conoscere il rapporto della massa del pianeta alla massa del sole. In questo modo si ottiene la misura della massa di ciascun pianeta dotato di satelliti (Giove, Saturno, Urano, Nettuno).

(1) Vedi la nota del § 329 a pag. 235.

In quanto ai pianeti senza satelliti (Mercurio, Venere, Marte) si valuta la massa loro dalla grandezza delle perturbazioni che ciascuno di essi produce sugli altri corpi del sistema solare, la quale grandezza dipende interamente dal rapporto che vi è tra la massa del pianeta perturbante e la massa del sole.

Delle masse degli asteroidi nulla sappiamo fuorchè le son piccolissime.

La massa della luna si valuta dall'effetto suo nelle nostre maree, è di circa $1/88$ della massa terrestre.

Le masse delle comete sono piccolissime rispetto alle masse dei pianeti; e ciò è mostrato dal fatto che le comete ricevono soventi perturbazioni grandissime nel loro corso dai pianeti presso cui passano, e tuttavia non inducono alcuna sensibile perturbazione nel corso di questi. Una cometa attraversò il sistema dei satelliti di Giove e non turbò di un punto il loro andamento. La nebulosità ed anche il nucleo delle comete dev'essere migliaja di volte più tenue, al dir di Arago, che il migliore vuoto pneumatico. J. Herschel stimò che la massa intiera d'una cometa fosse di pochi chilogrammi, e forse appena di pochi decagrammi. Le funeste conseguenze che taluni paventano ancora dall'urto di una cometa contro la terra sono vanità. Quando vedremo una cometa, dice Babinet, rimovere dal suo corso la terra, avremo veduto da un pezzo le mosche tirarsi dietro per l'aria gli elefanti e gli ipopotami.

Col dividere la massa di un corpo per il suo volume si ottiene la densità media del corpo. La densità del sole si trova essere di poco maggiore della densità dell'acqua; la densità di Urano circa la stessa dell'acqua, la densità di Saturno $3/4$ di questa.

Noti la massa ed il volume di un astro, si può calcolare facilmente quale sia il valore della gravità alla superficie di esso, giacchè l'attrazione è in ragione diretta della massa e inversa del quadrato della distanza dal centro dell'astro. Un corpo trasportato dalla terra alla superficie del sole vi cresce di peso 28 tanti, fatta astrazione dalla forza centrifuga indottavi dal moto rotatorio del sole.

Ecco in un quadro le masse dei corpi principali del nostro sistema, presa per unità la massa del sole; e le densità medie di essi, ritenuta per unità la densità dell'acqua; e i valori della gravità alla loro superficie, preso per unità il valore della gravità terrestre.

Nomi dei corpi	Masse	Densità medie	Gravità alla superficie
Sole.	1	1,37	28,30
Mercurio	1/2025810	15,99	1,15
Venere	1/401841	5,02	0,91
Terra	1/354936	5,44	1,00
Marte	1/2680337	5,16	0,50
Giove	1/1050	1,29	2,45
Saturno	1/3500	0,75	1,09
Urano	1/24000	0,98	1,05
Nettuno	1/14446	1,21	1,10
Luna	. . . .	3,37	0,16

340. *Stabilità del sistema planetario.* La stabilità del mondo non è già raccomandata, come credevano gli Antichi, a sostegni materiali, a perni, a spranghe di ferro, a sfere durissime di cristallo; ma è custodita dalle forze e dalla inerzia della materia. E così è meglio sicura; in quella guisa che la fermezza d'animo di un uomo è fermezza vera quando sdegna il presidio di esterni riguardi e tutta si accentra nell'intimo senso morale. Nel mondo fisico quelle forze poderose, quei movimenti velocissimi che pare minaccino rovina sono anzi le virtù conservatrici, e tanto più conservatrici, pel magistero della inerzia, quanto più sono grandi.

Adesso è chiaro perchè la terra e gli altri pianeti ricorrono le orbite loro, e non vanno dilungandosi via via dal sole, come sarebbero portati dalla velocità primitiva, e non cadono in

esso, come sarebbero portati dall'attrazione continua. Nel moto curvo risultante dalle due tendenze, quando la terra si avvicina al perielio, l'attrazione solare cresce, ma per ciò cresce anche la velocità del moto, onde cresce la forza centrifuga tanto che al perielio ella supera l'attrazione. Da quel punto la terra comincia ad allontanarsi dal sole, e allora l'attrazione diminuisce, ma il moto allentandosi fa diminuire ancora più la forza centrifuga, la quale all'afelio rimane superata alla sua volta dall'attrazione che ravvicina di nuovo la terra al sole. Così il nostro pianeta, per l'azione continua dei due freni, che attingono ogni forza nella stessa natura materiale di lui, e lo correggono con alterna preponderanza, tiene in perpetuo il medesimo cammino intorno alla fonte di luce e di calore.

Nel moto rotatorio della terra sull'asse l'inerzia fa che i piani di rotazione dell'equatore e di tutti i paralleli non siano presti a declinare dalla loro posizione, e che perciò l'asse medesimo tenda a conservare la sua giacitura nello spazio. Di qui una promessa che i diversi paesi abbiano sempre a ripetere la loro serie di posizioni in faccia al sole, e serbino l'ordine proprio delle stagioni e non mutino clima.

Ma le azioni reciproche dei pianeti e dei satelliti del sistema solare vi mutano pur senza posa le velocità, le distanze dei corpi, le forme, le inclinazioni delle orbite. A tale spettacolo sorge un desolante pensiero. Tante forze, così variabili nella direzione e nella intensità, potranno esse mai serbarsi perpetuamente in bilico, sicchè sia salva nel corso dei secoli la stabilità del sistema? Dal confronto delle osservazioni antiche con le moderne apparisce che il moto di Saturno va allentandosi e che i moti della Luna e di Giove si accelerano di continuo. Se la velocità di un astro diminuisce, bisogna dire, per le ragioni dinamiche della terza legge di Keplero (§ 318), che l'astro si allontana sempreppiù dal centro del proprio movimento; se la velocità cresce, che l'astro si avvicina ad esso centro. Dunque avverrà egli che nel corso de'secoli il sistema solare perda Saturno, suo più mirabile ornamento, e che la grande mole di Giove arrivi a sommergersi nell'oceano incandescente del sole, e che gli uomini vedano la luna farsi più e più dappresso e infine battere sulla terra? Il sommo Newton dubitava che il sistema planetario avesse ricevuto la virtù della propria conservazione, ed amava credere che la mano creatrice dovesse intervenire di tempo in tempo ad arrestare e correggere il disordine. Eulero, che in fatto di per-

turbazioni astronomiche ne sapeva più innanzi di Newton, dubitava egli pure che il sistema solare non possedesse le condizioni della propria stabilità. Gli studi successivi di Laplace, di Lagrange, di Poisson e di Leverrier diedero a conoscere che le possiede. Le idee adeguate de' magisteri più alti della natura contengono in sè le ragioni della stabilità delle cose; perciò vediamo le menti che hanno il privilegio di sollevarsi fino a quelle idee, mettere in luce le più sicure dimostrazioni della stabilità e proclamare l'ordine costante dell'universo. È bello che la dimostrazione della stabilità del mondo sia serbata a que' genii le cui opere meritano di essere immortali. Essi hanno bene diritto alla compiacenza di scoprire che il campo delle loro glorie non perirà.

Di mezzo a tutte le mutazioni del corso de' pianeti vi è una cosa che non cangia; e questa è la lunghezza dei grandi assi delle orbite elittiche variabili percorse da pianeti fittizii, le quali noi abbiamo immaginate come riscontro delle ineguaglianze periodiche (§ 338). Siccome poi la durata della rivoluzione di ciascun pianeta intorno al sole si collega, per la terza legge di Keplero, alla lunghezza del grande asse dell'orbita sua, così la costante lunghezza dei grandi assi di tutte le orbite ci assicura che tutti i pianeti consumeranno sempre il medesimo tempo a fare una rivoluzione intorno al sole.

Le eccentricità delle orbite e le inclinazioni dei loro piani rispetto ad una posizione del piano della eclittica vanno bensì variando, ma fu dimostrato che ciascheduna di queste variazioni, se per lunga serie di secoli procede in uno stesso verso, onde i suoi effetti si sommano, procede poi, per una serie di secoli egualmente lunga, in verso contrario. Le orbite vanno oscillando lentissimamente intorno a certe condizioni medie, sì di eccentricità e sì di mutua inclinazione, dalle quali si scostano ora per un verso ora per l'altro, ma di pochissimo. Il nome che fu loro dato di pendoli della eternità esprime insieme e la secolare lentezza e il genere del movimento e la stabilità del sistema.

Sappiamo adesso che le ineguaglianze d'ogni sorta del moto di Saturno, di Giove, della Terra, della Luna e degli altri pianeti sono conseguenze della gravitazione, e sappiamo ancora che la gravitazione medesima, atteso certe condizioni del sistema solare, provvede affinchè codeste ineguaglianze tutte consistano in piccole oscillazioni periodiche intorno ad uno stato medio. E le condizioni della periodicità sono che i pia-

neti hanno piccole masse appetto al sole, e che girano intorno al sole tutti per il medesimo verso, e in orbite di piccola eccentricità, e in piani poco inclinati l'uno all'altro. La potenza di una formola matematica valse a dimostrare che per queste condizioni il mondo è stabile in virtù delle forze istesse che pareva lo minacciassero.

Vediamo da che provengano alcune ineguaglianze del moto della luna e della terra.

341. *Perturbazioni del moto della luna.* La luna, che ebbe fama di capricciosa e di indisciplinata, si discolpa ora, giustificando, col mezzo della gravitazione, tutte le irregolarità del suo moto. Ella osserverebbe fedelmente le due prime leggi di Keplero se nello spazio non ci fosse con lei se non la terra; ma gli altri corpi del sistema, e principalmente il sole, ne la distraggono un poco.

La luna, quando è in congiunziône, trovasi più prossima al sole che la terra; e allora il sole attrae l'unità di massa della luna più che quella della terra, e perciò allontana il satellite dal pianeta. La luna, quando è in opposizione, trovasi più lontana dal sole che la terra; e allora il sole attrae l'unità di massa della luna meno che quella della terra; ma anche questa differenza produce nel sistema dei due corpi l'effetto di una forza distraente, cioè quello di allontanare l'un corpo dall'altro. Dunque il sole accresce la distanza tra la terra e la luna; ed è chiaro che deve accrescerla più o meno a misura ch'esso è più o meno prossimo al sistema; sul perigeo deve accrescerla di più che sull'apogeo. Quindi conviene che l'orbita della luna si contragga poco a poco mentre che il sole va dal perigeo all'apogeo, e si dilati poi mentre che il sole torna da questo a quello. Ne consegue, per la terza legge di Keplero, che la durata della rivoluzione della luna intorno alla terra deve diminuire nel primo dei periodi suddetti e crescere nell'altro; deve raggiungere il suo massimo valore quando il sole tocca al perigeo, cioè verso il primo di gennajo, e deve ridursi al suo minimo sei mesi dopo, cioè verso il primo di luglio. Questa ineguaglianza si dice *equazione annua* (vedi nota a pag. 161 del T. II); fu avvertita da Ticone Brahé; per essa la durata della rivoluzione siderea della luna, se si calcola verso il primo di gennajo, eccede a più di un quarto d'ora quella calcolata verso il primo di luglio.

Passiamo ad un'altra ineguaglianza. Abbiamo detto che la durata della rivoluzione siderea della luna va diminuendo len-

tissimamente nel corso dei secoli, ossia che il moto della luna si accelera (§ 295, 340). Adesso la gravitazione ce ne addita il motivo: eccolo. Si è veduto poc'anzi che in ciascun anno il moto medio della luna si fa più veloce e si fa più lento come il sole va più lontano o vien più vicino della terra. Se l'orbita della terra intorno al sole, ossia l'eclittica, non variasse mai di forma, il moto medio della luna tornerebbe ad essere alla fine di ciascun anno quello che era al principio, e non varierebbe mai per mutare di secoli. Ma l'orbita della terra, oltre le variazioni secolari già accennate (§ 276), ne patisce un'altra ed è che l'eccentricità sua diventa più e più piccola, rimanendo pur sempre costante la lunghezza del grande asse. Il cangiamento di forma che ne consegue nell'eclittica fa che l'aumento medio indotto dall'azione perturbatrice del sole nella distanza della luna dalla terra non sia il medesimo da un anno all'altro, o dirò piuttosto da un secolo all'altro, ma diventi più piccolo mano mano che l'eccentricità dell'eclittica diminuisce. Il diminuire di questa eccentricità importa dunque una diminuzione della distanza media del satellite dalla terra e però una diminuzione della durata della sua rivoluzione siderea. L'effetto che il calcolo assegna a tale variazione si trova rispondere giustamente al fatto. Ma le ineguaglianze secolari delle orbite planetarie sono, come si è detto, periodiche; l'eccentricità dell'eclittica andrà diminuendo ancora per secoli, poi verrà crescendo, e in seguito diminuirà ancora, e così via. Il moto medio della luna seguirà dunque esso pure la vicenda di codeste oscillazioni.

Il moto retrogrado dei nodi dell'orbita lunare (§ 295) è prodotto anch'esso dall'azione perturbatrice del sole. Questa azione, per essere l'orbita lunare in un piano inclinato all'eclittica, si esercita obliquamente al piano medesimo, e perciò ammette una componente la quale tende a variare l'inclinazione dell'orbita della luna al piano dell'eclittica, ed a traslocare via via in siffatta variazione i nodi suoi con moto retrogrado. Si dimostra che l'effetto della componente di variare l'inclinazione dell'orbita della luna al piano dell'eclittica è periodico, sicchè in medio l'inclinazione rimane costante; ma i nodi continuano sempre il moto retrogrado, e al compiersi d'ogni lor giro l'inclinazione dell'orbita è ricondotta a quella che era sul cominciare.

A ciascuna rivoluzione del nostro satellite i nodi si spostano dunque un poco, ma non sempre egualmente, perchè la luna,

intanto che percorre l'orbita sua accompagnando la terra, cangia alquanto di posizione rispetto al sole. La velocità variabile che il calcolo assegna a questo moto dei nodi è proprio quella che si osserva in effetto. Il variare della velocità del moto dei nodi corrisponde a quel variare periodico della inclinazione dell'orbita all'eclittica che si chiamò *nutazione dell'orbita della luna* (§ 295).

342. *Causa della precessione degli equinozi e della nutazione dell'asse della terra.* Il moto retrogrado dei punti equinoziali, per cui il polo non tiene sempre un sito nella sfera stellata, e questa pare che faccia un giro in 258 secoli (§ 274), onde avverrà che le costellazioni d'inverno si mutino in costellazioni d'estate, e reciprocamente, mostra, come fu detto (§ 316), che l'asse della terra non serbasi parallelo a sè stesso, ma si move descrivendo nel lungo periodo una superficie conica. Perchè mai siffatto movimento dell'asse? I poli del globo non mutano sito nella superficie di questo, e ne è buon testimonio la costanza di latitudine di tutti i paesi; dunque l'asse di rotazione del globo passa pur sempre per i medesimi punti della massa terrestre. E s'e' non cangia nel globo, dovrebbe, per l'inerzia, serbarsi ognora parallelo a sè nello spazio, e mirare sempre allo stesso punto del cielo. Se fa altrimenti, bisogna dire che v'è una potenza perturbatrice che lo move. La potenza fu indicata da Newton e poscia riconosciuta esattamente da D'Alembert. Ella ha origine dalla forma del globo, compressa ai poli e rigonfia all'equatore.

Il globo è quale una sfera involta in uno strato la cui grossezza è massima tutto all'ingiro sul grande cerchio dell'equatore e va diminuendo nell'un emisfero e nell'altro verso i poli, dove si riduce a zero. Si guardi ad una piccola massa dello strato prossima all'equatore, questa, per il moto rotatorio della terra, descrive una periferia circolare intorno all'asse; è per così dire un piccolo satellite della terra che si move nel piano dell'equatore. Il sole operando su questo satellite, la cui orbita è inclinata al piano dell'eclittica, deve tirarlo di quella guisa che indurrebbe un moto retrogrado de' suoi nodi, come fa con la luna (§ 241). Avviene lo stesso di ciascun'altra massa dello strato involvente. Dunque le azioni del sole su tutte le parti dello strato cospirano a fare che il sistema di tutte, nel suo rotare sull'asse, mova il proprio equatore tal che i nodi suoi girino in verso retrogrado nel piano dell'eclittica. Lo strato, essendo congiunto alla sfera ch'esso involge, move con seco

di questo moto la sfera medesima, onde la velocità riesce assai diminuita. Così l'intersezione del piano dell'equatore col piano dell'eclittica, ossia la linea degli equinozi, ha quel moto retrogrado che anticipa di anno in anno gli equinozi. L'asse della terra, seguendo il moto dell'equatore, viene a descrivere la superficie conica di cui sopra, serbandosi pur tuttavia inclinato d'una stessa quantità al piano dell'eclittica.

Un effetto somigliante è prodotto dall'azione attrattiva della luna; se non che il rapido mutarsi della posizione del piano dell'orbita lunare rispetto all'eclittica fa che nel moto periodico dei punti equinoziali indotto dal nostro satellite varii periodicamente anche l'obliquità dell'equatore sull'eclittica. I periodi di questo moto dei punti equinoziali e di questa variazione di obliquità sono eguali tra loro, essendo misurati e l'uno e l'altro dal tempo che corre da una data posizione dell'orbita lunare al ritorno dell'orbita in quella posizione. In corrispondenza alle variazioni di obliquità dell'equatore l'asse della terra patisce le piccole oscillazioni all'ingiro della sua posizione media, le quali costituiscono la *nutazione dell'asse terrestre* (§ 316).

L'azione del sole sulla parte della massa terrestre che forma l'elevazione equatoriale induce dunque la precessione degli equinozi, e intanto l'azione simile della luna viene ripetendo il fenomeno della nutazione.

Ogni cosa è collegato nel mondo. I fenomeni, in vista più disparati, si attengono gli uni agli altri per mezzo delle leggi generali della natura. Il moto rotatorio della terra, con la forza centrifuga ch'esso genera, più grande presso l'equatore che presso i poli, produsse, quando le materie terrestri erano fluide o pastose, la elevazione equatoriale; e questa elevazione, per l'influenza che vi hanno il sole e la luna, induce la precessione degli equinozi e la nutazione dell'asse; i quali fenomeni, innanzi la scoperta della gravitazione, non pareva che avessero alcuna attinenza col moto diurno della terra.

Tocchiamo un altro bell'esempio di colleganza che la gravitazione ha giustificato.

343. *Spiegazione delle concordanze dei diversi movimenti della luna.* La luna, nel tempo che fa un giro intorno alla terra, fa anche un giro intorno al proprio asse (§ 298). L'eguaglianza matematica delle velocità angolari di due moti, i quali non hanno per natura loro un legame necessario, è già una cosa stranissima nel campo delle probabilità. E vi sono due

altre coincidenze: 1.° l'equatore della luna e l'orbita di essa hanno eguale giacitura nel cielo, cioè tengono una medesima orientazione rispetto alle stelle; 2.° i moti di precessione dei loro due piani sono esattamente uguali. Un felice pensiero, suggerito a Lagrange dal principio della gravitazione, rannodò tutte queste concordanze alla figura del nostro satellite. La luna, fin da quando era una massa pastosa, dovè prendere, per effetto dell'attrazione terrestre, una forma un poco allungata verso la terra, e solidificandosi la ritenne. Ella volge dunque il diametro maggiore verso di noi; è come un pendolo che sta librato a tanta altezza dalla terra. Se un pendolo è distolto dalla verticale, la gravità ve lo riconduce; e così la luna, se venisse ad avere il maggiore diametro fuori della direzione ordinaria, l'attrazione terrestre la tirerebbe a rimettervelo. Ecco perchè la luna ci porge costantemente la medesima faccia. Inoltre se mai sul principio vi era un piccolo divario di velocità tra i due moti di rivoluzione e di rotazione della luna, l'attrazione terrestre ebbe a ridurre i due moti in giusto ragguaglio. E l'attrazione terrestre ebbe altresì a recare in una medesima giacitura l'equatore e l'orbita della luna, e a correggere i loro due piani in uno stesso ordine di precessione.

344. *Scoperta del moto rotatorio dell'anello di Saturno.* La gravitazione rende buon conto di tutti i particolari che si osservano nei moti degli astri. Le ineguaglianze, che pareva offendessero la semplicità presunta di essi moti, vengono tutte ricuperate dal principio newtoniano, e, mentre concorrono a proclamarlo vero, si immedesimano con lui in una fortissima semplicità di fatto.

Il principio newtoniano valse anche a rivelare, come sue conseguenze necessarie, certe piccole ineguaglianze che l'osservazione da sè sola avrebbe a mala pena scoperte, e così la cognizione dei movimenti celesti è ora venuta a tal segno di esattezza che nulla più. La perfezione delle tavole della luna, codice dei naviganti, colloca gli astronomi che vi collaborarono in uno splendido seggio tra i benefattori dell'uman genere. Quel principio seppe divinare, non solo ineguaglianze di moti già conosciuti, ma e corpi e moti nuovi. Ho detto la scoperta di Nettuno fatta con la scorta delle perturbazioni del moto di Urano (§ 322). Aggiungo un altro esempio.

Come avviene che l'anello di Saturno dura da secoli nella sua integrità? Perchè mai le parti di esso non cadono, per gravità, alla superficie del pianeta. Laplace pensò che ne siano

trattenute dalla condizione che l'anello ruoti nel suo piano e intorno al suo centro. La forza centrifuga generata da questo moto in ciascuna parte dell'anello, combinandosi in essa coll'attrazione del pianeta e delle altre parti dell'anello stesso, può mantenere tutto il sistema in equilibrio. Laplace fece il computo della velocità con che l'anello dovrebbe girare perchè ne risultasse questo effetto. Intanto Herschel col suo telescopio riconobbe che l'anello ruota realmente nel proprio piano, e potè misurare la velocità del moto. Le due velocità trovate per sì diversa via dai due astronomi, senza che l'uno sapesse dell'altro, sono uguali. L'osservazione di Herschel è un plauso al pensiero e al calcolo di Laplace ed un omaggio alla gravitazione.

345. *Gravitazione nelle stelle e nelle nebulose.* La gravitazione regge anche le stelle. Herschel osservò che nei sistemi chiamati *stelle doppie* (§ 266) le due stelle girano l'una intorno all'altra, o per dir meglio si aggirano tutte e due intorno al loro centro comune di gravità. Savary, Yvon Villarceau... con misure delicatissime su parecchi sistemi verificarono che il movimento relativo dell'una stella intorno all'altra si fa con le prime due leggi di Keplero. Ciò dimostra che le due stelle si attraggono reciprocamente giusta il principio newtoniano. Di qui una bella conseguenza circa l'altezza a cui può giungere la nostra cognizione del cielo. Quando sapremo con una certa approssimazione la distanza che ci divide da un sistema binario e gli elementi del moto rispettivo delle sue stelle, sarà facile computare la massa del sistema. Diffatti dalle dimensioni apparenti delle orbite si passa, per la notizia della distanza da noi, alle dimensioni vere; la durata della rivoluzione ci istruisce di quanto ciascuna delle due stelle cade verso l'altra in un minuto secondo, e da ultimo il paragone di questa quantità a quella di che cade in egual tempo la terra verso il sole porge il rapporto che v'è tra la somma delle masse delle due stelle e la massa del sole. Le indagini già fatte per questa via, come che non ancora sicure, mostrano bene che le masse delle stelle sono simili alla gran massa del nostro luminare.

L'analogia ci persuade che ciascuna stella abbia un suo corteggio di pianeti invisibili a noi da tanta distanza. Nei pianeti delle stelle doppie la vicenda dei giorni dev'essere molto varia per i due soli che sorgono e tramontano ad intervalli mutabili, e le cui luci hanno tinte spesso molto diverse.

Ci sono indizii che la gravitazione governi anche le nebulose. Noi potremo solo nella serie dei secoli vedere se una di quelle nebulose che chiamiamo *diffuse* (§ 268), e che probabilmente sono grandissimi ammassi di materia cosmica attenuata, vada addensandosi nelle sue parti medie in uno o più centri, e si trasformi in stella nebulosa o in sistema di stelle multiple, o in nebulosa stellare. Ma se consideriamo insieme diverse nebulose vediamo che la materia vi si trova addensata nel mezzo, in una meno in altra più, quasi a rendere immagine presente delle trasformazioni successive che una stessa nebulosa va ricevendo nel mutare de'secoli per l'attrazione reciproca delle sue parti. L'osservazione di Arago che nelle nebulose sferoidali lo splendore cresce dall'orlo verso il mezzo più rapidamente che non sarebbe voluto dalla forma sferica se le stelle vi fossero distribuite ad eguale distanza tra loro, attesta che le stelle vi si trovano più ravvicinate nei luoghi centrali come per effetto di gravitazione.

346. *Moto di traslazione del sistema solare.* Il sole corre nello spazio con tutta la sua comitiva di pianeti, e forse questo moto è pur esso regolato dall'attrazione universale. I moti progressivi delle stelle (§ 271) sono varii e nella direzione e nella velocità apparente; ma insieme si ravvisa nel loro complesso anche un andamento speciale, come sarebbe offerto alla nostra vista da un moto che fosse proprio del nostro sistema. Se noi corressimo nella sfera stellata sur una certa direzione, vedremmo le stelle alle quali ci avviciniamo rimoversi poco a poco le une dalle altre perchè le loro distanze angolari misurate da noi andrebbero crescendo mano mano che ci facciamo a mirarle più davvicino; ed intanto le stelle dell'opposta plaga del cielo, dalle quali ci allontaniamo, le vedremmo come raccogliersi più dappresso tra loro. Or bene, di mezzo ai varii moti delle stelle si osserva un effetto di questa sorta: convien dunque dire che le stelle hanno bensì de' movimenti loro proprii, ma che in pari tempo anche il nostro sistema si trasloca nello spazio. W. Herschel, che pel primo si fece a questa considerazione, trovò che il sole cammina verso un punto situato nella costellazione di Ercole. In seguito le sottili discussioni di Argelander, Struve, Maedler, Petersen sui moti delle stelle visibili dal nostro emisfero, e di Gallovay sui moti delle stelle visibili nell' emisfero australe, hanno confermato la cosa. I calcoli dei diversi astronomi sono in accordo soddisfacente nell' assegnare il punto verso cui è indirizzato il nostro sistema.

Nel 1840 la sua posizione era a 259°,55',1 di ascension retta, ed a 34°,33',6 di declinazione.

La strada che fa il sole in un anno, chi la guardasse perpendicolarmente dalla regione di una stella di prima grandezza, misurerebbe il piccolo angolo di 0",3392. Il valore della distanza a che siamo da quella regione (§ 262) ci dice che il sole percorre in un anno ben 150 milioni delle nostre miglia, o circa 360,000 miglia al giorno. Tanta velocità non ci atterrisca: se il sistema solare continuasse a correre in retta linea per il medesimo verso, ci vorrebbero 608,000 anni ad entrare nella regione delle stelle di prima grandezza, e non meno di 3,372,150 anni a raggiungere una stella di quarta grandezza.

347. *Stabilità del nostro sistema stellare.* Se vige l'attrazione fra tutte le stelle, queste devono di necessità essere tutte in moto. L'attrazione che le affatica senza posa le condurrà mai ad un accozzamento intorno al loro centro comune di gravità? Quel timore di rovina che abbiamo veduto dileguarsi per gli elementi del sistema solare (§ 340) si affaccia ora di nuovo, sebbene a maggiore distanza, per il nostro sistema stellare, la Via Lattea (§ 269). L'ordine della natura, dove tutti i moti che ci è dato vedere si rinnovellano con legge determinata, ne' affida che il dito di Dio abbia impresso nell'universo il suggello di una indefinita conservazione. Ma gli astronomi amarono di investigare per che modo la struttura della nostra nebulosa abbia in sè la condizione di un sistema inalterabile di stelle. Riferisco in questo proposito il pensiero dell'illustre Mossotti.

La Via Lattea ha la forma di un anello pressochè piano (§ 269). Dalla dottrina dell'attrazione risulta che un corpo il quale venga presentato al giro od esterno od interno di un anello piano è attratto nella parte più prossima dell'anello verso un punto che è circa nel mezzo della larghezza di questo. Similmente una stella posta nel contorno interno della Via Lattea deve essere indotta dalle innumerevoli attrazioni degli astri distribuiti in essa ad internarsi nello spazio anulare adjacente. Giunta però al punto di mezzo della larghezza, la stella non si ferma, giacchè vi arriva con una certa velocità, onde si inoltra per l'inerzia verso il contorno esterno. Ma in questo trascorrere, l'azione opposta della attrazione, richiamandola continuamente indietro, le toglie ogni velocità per quel verso, e la induce poi a ritornare sulla medesima via. Ella ripassa pel mezzo della larghezza, ancora con una certa velocità; progredisce verso il contorno

interno e giunge al luogo da cui era partita. Qui ripiglia il moto di prima, e così va oscillando successivamente dall' uno all'altro contorno. Supponiamo ora che la stella abbia anche ricevuto una velocità di projezione secondo la tangente alla curva del contorno interno nel punto da cui ella parte. Componendo il moto per questa velocità col moto suddetto, si vede che la stella farà a più riprese l' intero giro dello spazio anulare, trasportandosi nel suo corso ora verso il contorno esterno ora verso l'interno, e descrivendo così una linea serpeggiante di un numero indefinito di circonvoluzioni tutte comprese in quello spazio (fig. 237).

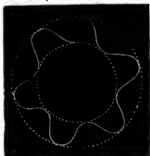



Fig. 237.

Ciò che si dice di una stella vale per ciaschedun'altra, ed anche se le stelle innumerevoli fossero tutte in moto dentro l'anello. Dunque le stelle della Via Lattea possono costituire un sistema inalterabile, circolando ciascuna per lo spazio anulare, secondo una linea serpeggiante che si avvicina alternativamente ora al contorno interno ora all' esterno dello spazio stesso, e non ne esce mai.

Poichè la Via Lattea ci porge l'aspetto di una fascia circolare nel cielo, è segno che noi la guardiamo dal suo interno, e che adesso il sole si trova giunto presso il confine interiore dell'anello, e fa la svolta per tornare indietro. In questa flessione del cammino il sole deve tenere nel suo moto una direzione prossima a quella della tangente al contorno interno nel punto in cui il sole si trova. Ora se dalla costellazione della Croce, presso la quale pare che sia presentemente il nostro sistema (§ 269), si tira una tangente al circolo della Via Lattea, un poco elevata verso l' emisfero boreale, si trova, con mirabile coincidenza, ch' ella batte vicino a quel punto della costellazione d' Ercole a cui il sole è indirizzato nell'attuale suo cammino. È dunque molto probabile che il sole e gli altri corpi della Via Lattea tengano il modo di circolazione che si è detto intorno al centro di gravità di tutta la nebulosa. Una analogia che non vuolsi tacere si è che il sole in questo moto va nella direzione da occidente ad oriente, che è quella medesima in cui i pianeti si aggirano intorno al sole e quasi tutti i satelliti intorno al loro pianeta.

348. *Lavori per scoprire i moti di traslazione delle nebu-*

lose. Il moto di traslazione del sole, che si è conosciuto per riferimenti alle varie stelle della nebulosa medesima a cui l'astro appartiene, è un moto relativo, è un mutare di luogo dentro la nebulosa. Può essere che la nebulosa in complesso abbia pure un moto di traslazione nello spazio. In tal caso, a fare un passo di più nella cognizione del movimento del sole per i cieli, si vuol sapere quale sia la direzione e la velocità del moto della nebulosa. A verificare se la nebulosa è in moto. e come, convien cercare i punti di confronto al di fuori di essa, e dove trovarli se non nelle altre nebulose stellari che vediamo disseminate nel firmamento? Questo pensiero indusse Laugier ad intraprendere la compilazione di un catalogo delle nebulose con l'esattezza grande che possono i mezzi odierni di osservazione. I nostri nipoti, confrontando il catalogo d'oggi coi cataloghi ch'essi faranno di qui a secoli, forse che giungano a scoprire i moti proprii delle nebulose, e quindi ad acquistare una notizia di più circa il moto del sole nello spazio.

A compire l'elenco dei principali fenomeni celesti dobbiamo notarne due altri: la luce zodiacale e le stelle cadenti.

349. *Luce zodiacale*. In certi tempi dell'anno si vede all'occidente, quando il crepuscolo vespertino è appena svanito, una luce di figura triangolare che dall'orizzonte si stende, più o meno alta, nel cielo. La sua larghezza alla base è talvolta di ben 30° e l'altezza può giungere fino a 50°. La linea mediana della figura, tirata lungo l'altezza, giace nel piano dell'eclittica, sicchè il suo prolungamento sotto l'orizzonte passa pel sole. Partecipa del moto diurno della sfera celeste; la sommità sua si abbassa grado grado e tramonta. Le si pose il nome di *luce zodiacale*. Dev'essere di materia attenuatissima perchè lascia trasparire le piccole stelle. Non è un'atmosfera del sole che giri con la medesima velocità angolare del moto rotatorio dell'astro, perchè si dilunga oltre l'orbita di Venere, onde nelle sue parti estreme la forza centrifuga sarebbe molto superiore all'attrazione, e quelle parti se ne staccherebbero per disperdersi nello spazio. Pare che sia fatta d'una nebulosità, foggiata a lente, che cinga il sole, e si aggiri intorno ad esso di un moto suo proprio.

A potere vederla è d'uopo che il cielo sia puro, e che quando il crepuscolo si estingue ella sorga ancora tanto che non la coprano i vapori dell'orizzonte. Quest'ultima condizione è adempiuta se in quell'ora l'eclittica fa coll'orizzonte un angolo grande,

e ciò avviene per l'Europa verso il 21 di marzo. Noi infatti vediamo la luce zodiacale nei mesi di marzo o di aprile. La vediamo anche la mattina all'oriente, innanzi l'aurora, ma in tale stagione che a quell'ora l'angolo dell'eclittica coll'orizzonte sia grande, il che accade verso il mese di settembre.

350. *Stelle cadenti.* Diciamo stelle cadenti quei punti luminosi che vediamo talvolta correre velocissimi nel cielo, passare in pochi istanti per varie costellazioni e poscia sparire. Le stelle cadenti non sono stelle; sono piccoli corpi che attraversano in tutte le direzioni la nostra atmosfera con grande velocità, e, per l'attrito alle particelle dell'aria, si riscaldano tanto da diventare incandescenti e però visibili. Alcuni cadono sulla terra e allora li chiamiamo *aeroliti.*

A spiegare questi fenomeni si ammette che nello spazio vi sia una moltitudine di corpicciuoli, i quali si movano obbedendo alle attrazioni del sole e dei pianeti, e che la terra nel suo giro annuo si abbatta ad incontrarne. Quelli a cui la terra si avvicina molto vengono tirati da essa a cadervi sopra, e sono gli aeroliti; gli altri entrano solo per picciol corso nell'atmosfera e ne escono a proseguire il loro cammino, o se la massa è poca si abbruciano del tutto nell'aria, e sono le stelle cadenti.

In certi giorni si osservano molte stelle cadenti, in altri poche. Si notò che l'apparizione numerosa di stelle cadenti è per qualche serie di anni periodica. Da più anni se ne vedono molte nella notte del 10 agosto; il numero di esse vedute quella notte in un'ora andò crescendo dal 1837 fino al 1848, nel qual'anno fu di ben 113, poi andò diminuendo fino a ridursi a 52 nel 1853; è probabilissimo che di qui a pochi anni questo massimo del mese di agosto sia cessato. Un massimo simile a questo ricorse per alcuni anni nel mese di novembre, crebbe fino al 1833, poi andò diminuendo, ed ora non c'è più. Siffatti periodi mostrano che i corpicciuoli delle stelle cadenti non si trovano distribuiti uniformemente nelle diverse regioni dello spazio, ma che in certi luoghi ve n'è degli strati o degli ammassi, e quando la terra nel suo moto periodico vi passa vicino, si ha un massimo nel numero delle stelle cadenti.

351. *Cosmogonie.* La sapienza che sfavilla da ogni parte nel disegno dell'universo, ci costringe a riconoscere dappertutto l'intervento di Dio. Si tratta però di sapere se l'intervento di Dio si fa in ogni istante su d'una materia non avente in sè proprietà e legge alcuna, o se fin dal principio Iddio diede

alla natura proprietà e leggi conformi al disegno dell'universo, le quali poi, per azione loro, abbiano formato i mondi. In ambedue questi modi Iddio è l'autore di tutto; e nell'uno e nell'altro Egli solo tiene il governo dell'universo. Ma il secondo modo pare più degno dell'Essere infinito; è più religioso, come quello che fa meglio suddita la natura alla Mente divina. Nel primo modo la natura obbedisce alla mano onnipossente come per forza; l'azione regolatrice dev'essere continua perchè la natura segua il suo corso; nel secondo modo la natura osserva sempre fedelmente le leggi che a Dio piacque una volta di imporle, e così adempie nella serie dei secoli l'alto consiglio. Ammesso il secondo modo, ed adottata l'opinione, consentita da Padri autorevoli della Chiesa, che le sette giornate della creazione siano sette periodi lunghissimi di tempo, i filosofi si permisero di tentare il problema della cosmogonia, che indaga per che modo il mondo si è formato ed è venuto alla condizione che vediamo.

Una cosmogonia deve rendere ragione di tutti i fenomeni generali del sistema solare. I fenomeni generali più cospicui sono i quattro seguenti: 1.° I pianeti si movono intorno al sole tutti nel medesimo verso, e press'a poco in un medesimo piano. 2.° I satelliti, salva qualche eccezione, si movono intorno al loro pianeta nel verso medesimo che i pianeti intorno al sole. 3.° Tutti questi corpi girano sul proprio asse nella direzione stessa del loro moto progressivo, ed anche il sole ruota in quella direzione. 4.° Le orbite dei pianeti e dei satelliti hanno eccentricità piccolissima.

Buffon è il primo filosofo che, dopo la scoperta del vero sistema del mondo, ha cercato di spiegare la formazione dei pianeti e dei satelliti. Egli suppone che una cometa, cadendo sul sole, ne abbia distaccato un torrente di materia, la quale siasi poi raccolta da lungi in diversi globi, più o meno grandi, e più o meno lontani da quell'astro; i globi diventati, pel raffreddamento, opachi e solidi sono i pianeti ed i satelliti. Questa ipotesi dà buon conto del primo dei quattro fenomeni suddetti; perciocchè tutti i corpi formatisi di tal guisa devono scostarsi poco nel loro moto dal piano che passava per il centro del sole e per la direzione del torrente di materia solare che li ha prodotti; ma non dà conto degli altri fenomeni. Il secondo ed il terzo non hanno legame necessario con la ipotesi. Il quarto le sta contro; e invero, per legge meccanica, una frazione di sole, che da una forza qualunque venisse projetta

nello spazio, dovrebbe moversi intorno al sole, tornando a passare in ciascun giro presso il luogo del distacco; e dovrebbe tener questo modo anche ciascun corpo che di quella parte di sole venisse formato. Le orbite dei pianeti avrebbero dunque ad essere molto eccentriche e quasi rannodate insieme in una stessa plaga del cielo prossima al sole, e non essere, come sono, quasi circolari, e tutte aventi vicinissimo al sole il centro. Noi che sappiamo quanto piccola sia e quanto diradata la massa d'una cometa, vediamo bene che uno di questi astri, non che urtare il sole e distaccarne una grande quantità di materia, non potrebbe nemmeno aprirsi la via attraverso l'atmosfera nostra e giungere ad urtare la terra.

Laplace, accolto il pensiero di W. Herschel che le nebulose condensandosi formino le stelle, vi compone dentro una felicissima cosmogonia, non per lancio d'immaginazione pura, ma ragionando sui fatti così.

La causa che generò il sistema solare, giacchè diede origine o direzione ai moti dei pianeti, conviene che un tempo tenesse in sè tutti questi corpi; e come vediamo che questi corpi sono a tanta distanza tra loro, che altro poteva essere ella mai se non una immensa atmosfera del sole che si estendeva oltre l'orbita di tutti i pianeti, ed è venuta poi a restringersi fino ai limiti odierni? Il nostro sistema fu dunque una nebulosa stellare, simile alle molte che vediamo anche oggidì; e forse innanzi era una grande nebulosa diffusa di materia infocata attenuatissima che, perdendo calorico nei freddi spazii celesti, andò condensandosi poco a poco al suo centro per l'attrazione, ond'ebbe il suo nucleo sole.

Questa nebulosa girava fin dal principio intorno ad una retta passante per il suo centro. Ma per che guisa ha ella potuto dare i moti regolati di rivoluzione e di rotazione ai pianeti ed ai satelliti che compose addensandosi? Se questi corpi in moto fossero mai stati una volta immersi a profondità nella nebulosa, la resistenza di essa, stringendone il giro ognora più davvicino al nucleo, avrebbe fatto che vi cadessero sopra. Vuolsi dunque ammettere che i pianeti non si formarono all'interno dell'atmosfera solare, ma che si formarono sui confini più e più ristretti ch'ella venne successivamente a prendere, e si formarono ivi per la condensazione delle zone di vapori che l'atmosfera nel raffreddarsi ebbe ad abbandonare nel piano del suo equatore. Ad intendere il come, bisogna por mente ad alcune verità meccaniche. L'atmosfera del sole, dotata di moto

rotatorio, dovè sempre avere nel proprio equatore un limite dipendente dalla velocità di questo moto, un limite che non può passare al di là di quei luoghi dove la forza centrifuga di rotazione farebbe equilibrio all'attrazione, ma che può trovarsi al di qua di essi per una prevalenza dell'attrazione. Mano mano che il raffreddamento restringe l'atmosfera e condensa alla superficie del sole le molecole che vi sono prossime, il moto di rotazione del sistema cresce, per la ragione meccanica che la somma delle aree descritte dal raggio vettore di ciascuna molecola in giro e projettate sul piano dell'equatore dovendo rimanere costante, bisogna che nel farsi le molecole più vicino al centro, come diminuiscono di lunghezza i raggi vettori, così crescano le velocità del moto rotatorio. La forza centrifuga generata da questo moto diventa dunque più grande, perciò i luoghi dove l'attrazione la pareggia devono farsi più e più vicini al centro, cioè il limite dell'atmosfera possibile deve restringersi. Se in un certo tempo questo limite restringendosi ebbe raggiunta la superficie dell'atmosfera, il che non ha potuto mancare, le condensazioni che il raffreddamento seguitò poi a produrre, dovettero di lì a poco abbassare questo limite sotto la superficie stessa. Allora la parte estrema dell'atmosfera tutto all'ingiro dell'equatore si trovò al di sopra del limite dell'atmosfera possibile, onde cessò di far corpo col resto della massa e se ne distaccò. Ma le sue molecole non si dispersero nello spazio; continuarono a circolare attorno al sole con la velocità di prima, perciocchè la loro forza centrifuga non cessò di essere in equilibrio con la loro gravità. Costituirono dunque una zona girante nel proprio piano intorno al centro del sistema.

Il distacco non potè farsi che in giro sull'equatore perchè in tutti gli altri piani paralleli le molecole devono stringersi per la gravità sempremeglio all'atmosfera mano mano ch'ella si condensa. L'attrazione che una molecola superficiale in quei piani paralleli ha verso tutta la massa non opera nella medesima retta della forza centrifuga, e le due forze si compongono in una risultante che tende a ravvicinare sempreppiù la molecola all'equatore mano mano che la forza centrifuga cresce. Così l'aumento della velocità angolare del sistema fa che le molecole della superficie trascorrano da tutte parti verso l'equatore, dove possono poi distaccarsi.

Di qui si vede che la nostra nebulosa, raffreddandosi di continuo, ha dovuto abbandonare successivamente nel piano del

suo equatore diverse zone di materia vaporosa, le quali continuarono a girare in esso piano intorno al centro comune. La massa centrale a che si ridusse la nebulosa per i successivi addensamenti è il nostro sole. Le zone concentriche di materia vaporosa, che furono lasciate indietro l'una dopo l'altra nel piano dell' equatore, formarono poi i pianeti e i loro satelliti nel modo che ora dico.

Ciascuna zona per effetto dell'attrazione mutua e della condensazione delle sue parti si foggiò ad anello girante intorno al sole. L'attrito mutuo delle molecole accelerò il moto delle une, ritardò quello delle altre, tanto che tutte ebbero una medesima velocità angolare. Così le velocità reali delle molecole più lontane dal centro del sole risultarono più grandi che delle meno lontane. Un'altra cagione crebbe la differenza delle velocità. Le molecole più distanti dal sole e che, pel raffreddamento e per la condensazione, discesero un poco verso di esso a fare la parte superiore dell'anello ristretto, hanno pur sempre continuato a descrivere coi loro raggi vettori delle aree ugualmente proporzionali ai tempi, perchè la loro forza centrale si tenne sempre diretta verso il sole; ora a mantenere la costanza delle aree è necessario un aumento di velocità, mentre che le molecole si avvicinano al centro del moto. Per la stessa ragione ebbe invece a diminuire la velocità delle molecole che si elevarono un poco più lungi dal sole a fare la parte inferiore dell'anello.

Se tutte le molecole di un anello vaporoso si fossero condensate via via senza disgiungersi, avrebbero costituito all'ultimo un anello liquido o solido. Ma la regolarità che a tal fine si richiede e nelle relazioni di tutte le parti dell'anello e nel raffreddamento loro, non potè essere adempiuta che in qualche rarissimo caso. Quasi sempre l'anello dovè rompersi in parecchie masse circolanti intorno al sole a distanze pressochè uguali. Ciascuna di queste masse prese, per l'attrazione mutua delle parti, la forma sferoidale, e convenne che ciascuna si desse anche a girare sopra di sè nel verso medesimo della rivoluzione, perchè le sue molecole inferiori avevano meno velocità reale delle superiori. Ecco da un anello tanti pianeti di materia vaporosa. Se uno di essi per prevalenza di massa attirò successivamente gli altri pianeti, si formò di tutta la materia dell'anello, un pianeta solo, dotato dei due moti di rivoluzione e di rotazione. E così avvenne di ciascun anello, salvo che di quello tra Giove e Marte che diede i diversi asteroidi.

Accompagniamo adesso col pensiero i cangiamenti che il raffreddarsi continuo ebbe a produrre nei pianeti vaporosi. Vedremo formarsi nel centro di ciascuno un nucleo che andrà crescendo per la condensazione dell'atmosfera che lo circonda. In tale stato il pianeta, come che piccolo, è simile alla grande stella nebulosa di cui siamo venuti descrivendo le trasformazioni. Esso toccherà dunque le medesime sorti. Il raffreddamento produrrà ai diversi limiti della sua atmosfera degli anelli, che si cangeranno in sferoidi, circolanti intorno al centro del pianeta nello stesso verso della sua rotazione, ed anche ruotanti in sè per quel medesimo verso. Ecco i satelliti che accompagnano il maggior numero dei pianeti. Data in alcune delle zone staccatesi dall'atmosfera quella uniformità di condizioni che si disse di sopra, le zone costituiranno altrettanti anelli; ed ecco gli anelli concentrici di Saturno che girano intorno al suo centro e nel piano del suo equatore. Questi fanno testimonianza continua che un tempo l'atmosfera di Saturno si allargava fin là.

Se il sistema solare si fosse formato con regolarità perfetta, le orbite dei corpi che lo compongono sarebbero tante periferie circolari, i cui piani, insieme coi piani dei diversi equatori e degli anelli, coinciderebbero col piano dell'equatore del sole. Ma si vede bene come le varietà innumerevoli che dovettero intervenire nella temperatura e nella densità delle diverse parti di codeste grandi masse ebbero a produrre le eccentricità delle orbite loro e le deviazioni del loro moto dal piano dell'equatore solare, eccentricità e deviazioni che per la natura stessa delle cause non poterono essere che piccole.

Così i fenomeni della poca eccentricità delle orbite dei pianeti e dei satelliti, della poca inclinazione di queste orbite all'equatore solare, dell'essere la direzione dei moti di rotazione e di rivoluzione di questi corpi la medesima che quella del moto rotatorio del sole, sono tutte conseguenze necessarie della ipotesi di Laplace, la quale ne riceve una bella impronta di vero.

E un'altra considerazione le giova. Poichè per l'ipotesi, tutti i satelliti di un pianeta ebbero origine dalle zone che la sua atmosfera lasciò indietro successivamente, e intanto il moto rotatorio del pianeta si fece più e più rapido, conviene che questo moto si spedisca in più breve tempo che non il moto di rivoluzione dei varii satelliti e degli anelli. E così è diffatto; ed è così anche per il sole rispetto ai pianeti.

L'ipotesi di Laplace spiega pure le altre condizioni del sistema nella maniera più naturale e conforme alle fisiche leggi. I pianeti ed i satelliti prodotti dai condensamenti che si disse dovettero essere liquidi prima che solidi, e allora convenne che prendessero le forme, che poi hanno ritenuto, di sferoidi alquanto compressi ai poli di rotazione, rilevati all'equatore e circondati d'un'atmosfera, avanzo della nebulosa da cui ebbero l'origine.

Alcuni satelliti, per la vicinanza del loro pianeta, hanno anche dovuto allungarsi in sul raggio vettore, dal che la tendenza di essi a volgere al pianeta sempre la medesima faccia, come vediamo della luna, e come parve ad Herschel di vedere dei satelliti di Giove.

La massa liquida del pianeta continuando a raffreddarsi diventò solida poco a poco in tutta la superficie. Quando il raffreddamento ulteriore diminuì il volume della pasta interna, la crosta superficiale, ritiratosi l'appoggio, s'è difformata qua e là e rotta in diversi luoghi. E intanto, se l'atmosfera conteneva copioso il vapor acqueo, se ne ebbe per condensazione grandi masse di acqua sulla crosta solida, che la alterarono togliendone via e trasportando molta materia, la quale poi fece sedimento a strati orizzontali sul fondo dei bacini. E sul principio le alterazioni di questa fatta dovettero succedersi molte e forti, per l'alterno svaporare e condensarsi delle acque, giacchè da una parte la crosta del globo era ben calda ancora, e dall'altra l'atmosfera ambiente andava di continuo raffreddandosi. Così la formazione successiva dei terreni alla superficie del globo terracqueo, come la spiegano i Geologi, trova anch'essa le sue ragioni nella ipotesi di Laplace (1).

Può essere che di quella materia vaporosa, lasciata indietro successivamente dalla nebulosa nel suo restringersi, alcune poche parti siano sfuggite alla composizione dei pianeti e continuino a girare a diverse distanze intorno al sole, costituendo una piccola nebulosa lentiforme, simile a parecchie che pur vediamo nel cielo. Questa darebbe il fenomeno della luce zodiacale. Altre parti, condensatesi pel freddo in una moltitudine di corpicciuoli, aggirantisi ciascuno per sè intorno al sole, darebbero le stelle cadenti e gli areoliti.

Le comete non pare che abbiano avuto l'origine nel sistema solare. Sono indizii del no l'inclinazione talvolta grandissima

(1) Delaunay. *Cours elementaire d'Astronomie*. Paris 1854, pag. 618

delle orbite rispetto al piano dell'eclittica, e il verso del moto che nelle une è diretto nelle altre retrogrado. È probabile che siano tante piccole nebulose, vaganti nell'immenso de'cieli. Se per avventura passano vicino al nostro sistema, possono piegare alquanto il loro corso verso il sole, diventare visibili a noi e quindi andarsene e non ritornare. Ma l'attrazione del sole e dei pianeti può anche mutare la linea del loro cammino in una elisse, con l'asse maggiore non molto grande e con un fuoco nel sole; allora esse diventano comete periodiche, e tali sono le quattro che abbiamo registrato (§ 327). Può avvenire che le perturbazioni che queste patiscono dai pianeti alterino un giorno le orbite loro a tale che vadano poi allontanandosi anch'esse per sempre da noi.

Chiudo questi pochi cenni delle cose astronomiche con le calde parole di Laplace: « L'Astronomia, per la dignità del subbietto e la perfezione delle dottrine, è il più bel monumento dello spirito umano e il pegno più nobile della sua intelligenza. L'uomo, sedotto dalle illusioni dei sensi e dell'amor proprio, si diede ad intendere per lungo tempo di essere centro al moto degli astri, e il vano orgoglio era punito dai terrori che gli astri gli incutevano. Molti secoli di studii fecero cadere finalmente il velo che celava agli occhi suoi il sistema del mondo. Allora egli conobbe di essere su d'un pianeta quasi impercettibile di quel sistema solare il cui vasto giro è pur esso un punto nella immensità dello spazio. I risultamenti sublimi che questa scoperta fruttò bastano bene a consolarlo dell'umile posto ch'ella assegna alla terra, perciocchè dimostrano la grandezza propria dell'uomo per la picciolezza stessa della base che gli valse a misurare i cieli. Custodiamo con amore, aumentiamo il tesoro di sì elevate cognizioni, delizia dell'anima che pensa. Esse prestarono segnalati servigi alla navigazione ed alla geografia, ma il benefizio più grande è di avere volto in fuga i timori prodotti dai fenomeni celesti, ed annullato gli errori nati dall'ignoranza de'rapporti veri che abbiamo con la natura; errori e timori che tornerebbero presto in campo se la face delle scienze avesse mai ad estinguersi » (1).

(1) *Exposition du système du monde.*

L'uomo seppe leggere una bella pagina nel codice degli astri, ma non giunse ancora a conoscere la costituzione di un briciolo di materia. I corpi che gli stanno di continuo sotto la mano egli non li può studiare addentro se non per via di congetture, giacchè le ultime particelle dei corpi non sono accessibili ai sensi. L'uomo non può far altro che osservare i fenomeni che risultano dalle azioni molecolari, e, consigliandosi con la meccanica razionale, immaginare le azioni capaci di produrli e le cause di queste azioni. In quanto alla costituzione dei corpi l'uomo non può dunque far altro che ipotesi, le quali tornano tanto meglio probabili quanto più semplicemente spiegano i singoli fenomeni e quanto maggiore coerenza pongono tra i fenomeni diversi. Ecco qualche cenno di questa maniera di studii.

552. *Forze molecolari*. La differenza di stato fisico dei corpi, onde sono o solidi o liquidi od espansibili, è tal fenomeno che i sensi non riconoscono la sua causa immediata, perciò lo si considera come un effetto di forze operanti tra le minime molecole. Cerchiamo di intravedere il genere e le leggi delle forze molecolari.

I fatti di adesione e di coesione provano che vi è un *sistema di forze attrattive*, agenti fra le particelle.

Se le forze attrattive fossero sole nei corpi, le particelle si troverebbero a mutuo contatto, ma la porosità e la compressibilità attestano che le particelle sono a distanza, dunque opera fra le particelle anche un *sistema di forze ripulsive.*

È da credere che le particelle di un corpo solido o liquido siano tenute alla distanza normale le une dalle altre per l'azione di questi due sistemi di forze, i quali, comechè contrarii, pare che operino insieme da ciascheduna particella.

Quando si tira un corpo solido per opposti lati, sicchè la distanza tra le particelle cresce un poco, si prova una resistenza all'azione, dunque fra le particelle condotte ad una distanza maggiore della normale predominano le forze attrattive. Quando un corpo viene compresso oppone una resistenza la quale s'invigorisce mano mano che le particelle si ravvicinano tra loro, dunque fra le particelle, ravvicinate oltre la distanza normale, predominano le forze ripulsive. Le particelle in un corpo solido allo stato normale non si movono, dunque sono

a tale distanza tra loro che i due sistemi contrarii di forze si equilibrano su ciascuna particella, cioè sono eguali. Questi fatti ci inducono ad ammettere che l'energia delle forze attrattive e delle ripulsive diminuisce al crescere delle distanze delle particelle, ma che l'energia delle ripulsive varia con legge più rapida che quella delle attrattive, giacchè, a partire dalla distanza normale di equilibrio, se la distanza diminuisce le forze ripulsive prevalgono alle attrattive, se cresce rimangono vinte da esse.

La struttura dei cristalli dimostra che le particelle dei corpi nel loro equilibrio stabile vogliono avere una giacitura speciale. Di qui un indizio che ciascun sistema di forze, od uno almeno di essi, esercita dai suoi centri di azione un' energia diversa nelle direzioni diverse, cosicchè secondo certe rette la sua efficacia è maggiore che secondo certe altre. Le rette secondo le quali è l' efficacia maggiore si chiamano *assi delle forze attrattive o ripulsive*.

Noi non possiamo sapere che relazione abbiano le forze molecolari con la essenza della materia. Le forze attrattive, poichè non si vede che ricevano legge da influenze straniere, sono riguardate da taluni come proprie della materia medesima; in questa ipotesi è probabile che gli assi loro dipendano solo dalla forma delle particelle. In quanto alle forze ripulsive le variazioni di volume dei corpi al variare della temperatura fanno prova ch' esse hanno relazione col calorico, e forse non sono altro che una particolare maniera di manifestarsi di questo agente.

Le azioni molecolari cessano a distanze appena sensibili, e diventano molto energiche al diminuire delle distanze; perciò bisogna dire che la legge con cui le forze molecolari variano per le distanze è assai più rapida che quella della ragione inversa dei quadrati osservata dalla gravitazione. La matematica dimostra che dall'attrazione molecolare con quest'ultima legge non potrebbero seguire effetti così grandi come li abbiamo nella coesione (1). Il fatto che le forze molecolari non adempiono la legge delle azioni sferiche semplici, per cui le intensità sono in ragione inversa dei quadrati delle distanze dal punto attivo, induce il sospetto che esse forze non siano semplici di lor natura, ma siano risultanti di altre forze. Diremo inseguito le congetture probabili intorno alla loro generazione.

(1) *Riflessioni sulla legge dell'attrazione molecolare*. Memoria del professore G. Belli nel Tomo I degli *Opuscoli matematici e fisici*. Milano 1823, presso P. E. Giusti.

Intanto dall'esposto di sopra conseguita che una particella in un mezzo materiale può essere soggetta ad azioni esercitate dalle particelle che le sono vicine da un certo lato, e può dal canto suo esercitare azioni su di esse. La risultante di tali azioni vicendevoli che riesce efficace sulla particella si dice *trazione* o *pressione*, secondo che tende a tirare la particella verso quel lato od a respingerla. Se una particella è in equilibrio conviene che risenta pressioni o trazioni uguali e contrarie. È chiaro che l'equilibrio di più particelle può dipendere non solo dalla distanza ma anche dalla loro giacitura, cioè dalla mutua disposizione degli assi delle forze, o, come dicesi, dalla orientazione degli assi.

Per questi principii si può formare una qualche immagine dei tre stati fisici con la scorta delle proprietà di ciascheduno.

353. *Stato solido.* Un solido nella maggior parte dei casi conserva la sua forma e lo stato suo di solidità anche quando si trova in uno spazio vuoto d'ogni materia ponderabile, dunque in un solido le particelle sono a tale distanza tra loro che le azioni attrattive (trazioni) e le azioni ripulsive (pressioni) esercitate su d'una particella qualunque si fanno equilibrio senza il concorso d'alcuna forza estranea.

Le parti di un solido si tengono tanto unite insieme da non poterle disgiungere strappando, nè muovere le une sulle altre torcendo, se non a fatica; dunque gli assi delle forze sono molto pronunciati, e l'orientazione loro, cioè la giacitura delle particelle costituisce in un solido una grande stabilità di equilibrio.

Così in un solido le particelle sono a certe distanze e in certe giaciture. Distolte un momento da queste distanze, da queste giaciture di equilibrio stabile, esse tendono a rimettervisi oscillando; allora si hanno i fenomeni di elasticità.

354. *Stato liquido.* In generale nei fluidi le particelle sono mobilissime, dunque in generale lo stato di fluidità è diverso da quello di solidità per ciò che gli assi delle forze molecolari sono pochissimo sensibili, talchè l'orientazione di essi, cioè la giacitura delle particelle, ha una influenza, se non nulla, al certo piccolissima sulle condizioni di equilibrio.

Quando un corpo da solido si fa liquido tira a sè e contiene una grande quantità di calorico, e le molecole diventano mobili. Pare che l'affezione del calorico si distribuisca allora più uniforme sulla particella e che la sua azione ripulsiva perda i proprii assi, e che tornino inefficaci, forse per la cresciuta

distanza delle particelle, anche gli assi delle forze attrattive; e però la giacitura delle particelle non contribuisca più nulla all'equilibrio, ond'esse ponno moversi di leggieri.

La viscosità di alcuni liquidi è forse dovuta all'esistenza di assi attrattivi, i quali esercitano ancora una debole azione.

Non dee far maraviglia che liquidi perfetti, per esempio l'acqua, accoppiino alla mobilità delle parti una coesione grandissima. Egli è che le particelle sono facili a moversi le une sulle altre sempreechè non si cangi la mutua loro distanza nella massa, ma resistono forte all'aumento della distanza ed al distacco. La scorrevolezza perfetta dipende dalla indifferenza delle particelle ad avere in codesta loro mutua prossimità una giacitura piuttosto che un'altra, onde può una particella rivolgersi per ogni verso intorno al suo centro; e dipende insieme da una cotal legge di compenso delle azioni molecolari, onde può una particella mutare di sito dentro la massa liquida senza difficoltà, perchè quanto resiste da una parte al suo movimento la relazione che essa ha con le particelle da cui si ritira tanto dall'altra parte piglia di forza la relazione con quelle a cui si accosta, e così la particella si trova sempre ugualmente presta a moversi. La coesione invece dipende dalle forze che trattengono le particelle alla mutua loro distanza in tutta la massa liquida; tosto che la distanza cresce un poco, riescono efficaci le forze attrattive e danno il fenomeno. Negli esperimenti circa la scorrevolezza è un succedersi di relazioni molecolari tutte uguali, ma nelle prove circa la coesione le relazioni si troncano; in quelli la distanza delle particelle rimane sempre la stessa in tutta la massa; in queste cresce nelle parti che poi si disgiungono. Può dunque darsi in un liquido una mobilità facilissima delle particelle e insieme una resistenza forte all'aumento delle loro distanze ed al loro distacco, o in altri termini può darsi molta scorrevolezza delle particelle e grande coesione.

L'azione capillare e l'evaporazione alla superficie dei liquidi vogliono che si studii più davvicino lo stato liquido e si definiscano più particolarmente le forze che lo reggono per condurle a dar conto anche di quei fenomeni.

Nei liquidi gli assi delle forze sono scomparsi, dunque la forza che una particella esercita sopra le altre ha grandezza uguale tutto all'ingiro di essa ad uguali distanze. Così lo spazio a cui si estende l'azione efficace di una particella sulle altre è circoscritto da una superficie sferica, nel cui centro sta

la particella; tale spazio lo chiameremo *sfera d'azione* della particella. In un liquido omogeneo tutte le particelle hanno sfera d'azione uguale. Sebbene la sfera d' azione sia piccolissima, è pur tanto estesa, in confronto alle dimensioni ed alle distanze delle particelle, che essa ne accoglie in sè un numero grandissimo. Poichè fra due particelle, quando son molto ravvicinate, predomina la ripulsione, e quando son meno vicine l'attrazione, vuolsi ammettere che la sfera d'azione è composta di due parti concentriche, e che nella parte media la risultante delle forze è ripulsiva, nella circostante attrattiva.

Di qui alcune conseguenze. Una particella, che sia a profondità sensibile nella massa liquida, non prova nessuna tendenza a moversi. Diffatto la sua sfera d'azione non si accosta molto davvicino alla superficie del liquido, ma è tutta compresa nella massa uniforme, e però tutta piena di particelle; queste, essendo egualmente distribuite per ogni verso all' ingiro della centrale, esercitano su di essa delle azioni simmetriche, le quali si fanno equilibrio tra loro e non vi inducono alcuna tendenza al moto. Invece una particella che sia alla superficie, o pochissimo al di sotto, deve patire una pressione verso l'esterno del liquido, prodotta dalle particelle comprese nella semisfera ripulsiva interna, la quale pressione è efficace perchè manca del tutto o quasi del tutto l' azione contraria della semisfera di complemento che, essendo o tutta o in gran parte fuori del liquido, o non contiene particelle o ne contiene pochissime.

355. *Forza contrattile alla superficie dei liquidi.* In un liquido la tendenza delle forze molecolari all'equilibrio deve indurre nelle ultime parti verso la superficie un decremento rapido della densità. E invero, in quello strato più superficiale del liquido che ha un'altezza minore del raggio dell'azione molecolare, le particelle, supposto per un istante che siano vicine tra loro come nell' interno della massa, non possono serbarsi così vicine, perchè l'azione ripulsiva esercitata, sulle inferiori dello strato dal liquido sottoposto, non è tutta equilibrata dall' azione attrattiva di esso liquido sulle superiori dello strato. A fare l' equilibrio completo mancano le attrazioni che sarebbero esercitate sulle particelle che porterebbero l'altezza dello strato fino ad uguagliare il raggio dell'azione molecolare. Dunque le molecole dello strato risentono un eccesso di pressione dal liquido sottoposto e devono allontanarsi le une dalle altre nel verso dell' altezza; con ciò le molecole, ossia i sistemi di particelle, si disgregano alquanto anche nei versi laterali, e

così il liquido dello strato si dirada per ogni verso. L'effetto sarà tanto maggiore quanto più sottile sarà lo strato che si immagina, perciò la rarefazione andrà crescendo rapidamente verso la superficie del liquido. Supponiamo che per l'avvenuta rarefazione sia raggiunto l'equilibrio nel verso verticale. Lo strato in cui si fece decrescente per questo modo la densità è sottilissimo, giacchè l'azione molecolare si estende solo a distanze insensibili; pure dividiamolo col pensiero in più falde tenuissime orizzontali: potremo ammettere che in una medesima falda le particelle si trovino equidistanti fra loro, vale a dire la densità sia uniforme. Ciascuna particella sarà in equilibrio anche in ogni verso orizzontale, perchè risente azioni tutte eguali dalle particelle che la contornano in la sua falda; sarà in equilibrio, ma soggetta ad una trazione orizzontale in ogni verso per essere le particelle della falda più distanti fra loro che nell'interno del liquido; e la trazione sarà maggiore nelle falde più prossime alla superficie che sono le più rare. Esisterà dunque in ogni luogo della superficie liquida un conato di trazione reciproca fra le particelle, una forza latente *contrattile* che, quando venga a rompersi la continuità del suo campo in qualche parte, sarà libera di agire e potrà dare dei movimenti. Se ne ha la prova diretta nell'esperimento di Bellavitis sulla lamina sottile di acqua saponacea (§ 58). Seguer, Monge, Young..... indovinarono l'esistenza di questa forza contrattile superficiale; il nostro Mossotti ne dichiarò l'origine e con sottile analisi la condusse a spiegare i fenomeni di capillarità. Noi facciamo solo un cenno dei principii della spiegazione.

356. *Causa dei fenomeni di capillarità.* Si immergano nel liquido, perpendicolarmente alla superficie di livello, due lamine piane di sostanza solida, l'una in faccia all'altra, e vicine tra loro. Cosa deve accadere in quella parte della superficie liquida che è frapposta alle due lamine? Se la sostanza delle lamine è di tal natura che esercita sul liquido vicino un'azione uguale all'azione del liquido sopra sè stesso, le lamine poste in luogo di liquido non promovono alcun cangiamento, e quella parte di superficie non si muta. Ma in generale l'azione delle sostanze solide su di un liquido è diversa da quella del liquido medesimo sopra di sè. Ora s'ella è più energica il liquido sarà attratto e compresso verso ciascuna lamina e monterà alquanto a contatto di ciascuna; s'ella è meno energica la superficie del liquido, per la sua forza contrattile, si

staccherà e dall'una e dall'altra lamina, deprimendosi alquanto vicino ad esse.

Nel primo caso i due arginetti liquidi, addossandosi alle due lamine e tenendosi pur congiunti al basso col liquido medio, presentano insieme con esso una superficie libera, continua, concava, che termina tangenzialmente sulle lamine e nella quale vige una forza di trazione. La forza lungo le due sommità degli arginetti tira verticalmente all'insù la listarella orizzontale di superficie concava che è lì presso, tendendo a staccarla dalla listarella contigua più bassa; quivi le particelle si scostano un poco le une dalle altre, onde riesce efficace una forza di trazione che induce questa seconda listarella a seguire il movimento ascensivo della prima; e così via per tutta la superficie. La superficie innalzandosi tira seco per coesione il liquido sottoposto, e quando il peso del liquido elevato giunge ad uguagliare la forza di trazione delle due falde laterali, il movimento cessa e v'è l'equilibrio.

Nel secondo caso l'azione attrattiva delle lamine sul liquido essendo minore di quella del liquido sopra sè stesso, avviene che il liquido si stacca da ciascuna lamina. La superficie libera del liquido va così estendendosi tra le parti che si staccano e la lamina; e nella superficie, mano mano che si estende, nasce la trazione fra le particelle cioè la forza contrattile. Se l'azione della lamina sul liquido fosse nulla, il liquido si scosterebbe dal piano della lamina fino a che la sua superficie libera, divenuta convessa, riuscisse tangente al piano; al di sotto il liquido rimarrebbe contiguo alla lamina, e per essere nulla l'azione di questa, avrebbe anche nella superficie di contatto una forza contrattile come nella superficie libera. Ma se l'azione della lamina sul liquido è qualche cosa, la trazione della superficie liquida attigua alla lamina deve risultare più piccola, giacchè ivi il liquido è meno rarefatto che quando l'azione della lamina è nulla; il liquido si deve staccare, incurvandosi, dal piano della lamina fino a tanto che la componente verticale della trazione sua nella superficie libera uguagli la trazione della superficie in contatto col piano. Allora queste due forze sono in equilibrio, e la superficie libera si trova congiunta a quella attigua al piano sotto un certo angolo, che, per la picciolezza del raggio dell'azione molecolare, si dimostra essere sempre il medesimo in un dato liquido, qualunque sia la sostanza solida del piano. La superficie libera del liquido fra le due lamine si trova dunque come attaccata nei

suoi lembi alle due superficie piane del liquido che sono contigue alla materia solida; e poichè lungo queste e nei loro punti di giunzione con la superficie libera vige la forza contrattile, la superficie libera ne viene tirata in basso e deprime il liquido sottoposto. Se l'intervallo tra le due lamine sarà piccolissimo, l'effetto risulterà molto sensibile; il liquido si abbasserà sotto il livello esterno fino a che le forze di trazione alla superficie saranno equilibrate dalla pressione che il liquido più alto al di fuori esercita col suo peso (1).

357. *Causa della evaporazione nell'atmosfera.* Il maggior numero dei liquidi non serbano lo stato loro nel vuoto ma passano allo stato espansibile; vuolsi dunque ammettere che ogni particella interna della massa liquida in equilibrio nell'atmosfera soffre per ogni verso una pressione dipendente dalla forza espansiva del calorico, la quale pressione intestina è tenuta a segno dalla forza comprimente atmosferica trasmessa per ogni verso dentro la massa. Così nell'interno la pressione non è efficace, e lascia sussistere le condizioni che abbiamo accennate di sopra. Ma alla superficie, nell'estrema falda rarissima, questa pressione non è del tutto equilibrata dall'atmosfera che ivi agisce immediatamente. Forse l'aria, che pure esercita la sua forza sui sistemi coerenti di particelle, non ha potere sulle particelle sparse, quasi isolate, del liquido alla superficie, per la medesima ragione che la forza espansiva di un fluido non vale a tenere in equilibrio la forza espansiva uguale di un altro fluido (§ 115, pag. 201 del Vol. I). Forse l'azione comprimente dell'atmosfera non trova da applicarsi tutta quanta alla sola falda tenuissima superficiale, e si applica anche alle particelle situate più sotto. Così le particelle superficiali, o punto o poco trattenute, si staccano dalla massa liquida e si insinuano frammezzo all'aria. Ecco l'evaporazione dei liquidi nell'atmosfera; fenomeno continuo della superficie e non dell'interno, perchè nell'interno la compressione atmosferica non opera immediatamente, ma opera col mezzo delle particelle stesse del liquido che la trasmettono, e però ella torna effettiva in ogni punto ed equilibra la pressione intestina.

(1) Vedasi la spiegazione dei fenomeni capillari data con questi principii nelle *Lezioni di Fisica Matematica* del Mossotti (Firenze 1843, T. I, pag. 134 e seg.). Con questi medesimi principii il Mossotti nella Riunione degli Scienziati Italiani in Torino spiegò il fenomeno osservato da Young che la colonnetta d'acqua elevata in un tubo capillare perde tosto più di un terzo della sua altezza quando si fa discendere sopra di essa un sottile velo d'olio (§ 61). È un fenomeno che non riceve spiegazione dall'analisi di Laplace e di Poisson sulla capillarità.

I liquidi sono pochissimo compressibili; quindi è da ritenere che la pressione intestina che risentono le particelle di una massa liquida cresce assai per poco che le particelle vengono ravvicinate tra loro. Questo grande aumento della pressione interna, che conseguita ad un ravvicinamento appena sensibile delle particelle, è un fatto caratteristico dello stato liquido.

358. *Stato espansibile.* I fluidi espansibili occupano uniformemente tutto lo spazio offerto ad essi, per quanto sia esteso, e non si può mantenerli in uno spazio limitato se non mediante pressioni esterne; dunque ciascuna particella, nell'interno di una massa espansibile limitata, prova per ogni verso una pressione.

La pressione interna, ossia la forza espansiva, di ciascun fluido aeriforme varia al variare della densità e della temperatura. Le leggi di queste variazioni sono ben poco diverse nei diversi fluidi, onde pare che in essi le forze attrattive non siano sensibili e che le particelle si trovino quasi affatto in balia del calorico. È probabile che la forza su cui si agisce quando si comprime un fluido aeriforme sia la forza espansiva medesima del calorico che investe le particelle.

ACUSTICA.

Tra i fenomeni molecolari quelli che non si attengono immediatamente alla costituzione dei corpi, ma che dipendono da un effetto di questa ben determinato in sè, riescono meno difficili a studiare che gli altri. I fenomeni del suono, poichè dipendono dalla elasticità, la quale è nel dominio della meccanica, hanno la loro spiegazione già condotta a buon segno.

Abbiamo detto (§ 243) che quando tutta una classe di fenomeni è generata da un fatto ben definito, uno di quei fatti che noi stessi possiamo produrre e che produciamo in effetto ogniqualvolta si vuole che succedano i fenomeni della classe, allora conviene che la spiegazione pigli le mosse da codesto fatto, e cerchi le conseguenze razionali di lui ne'diversi casi, e le rechi a dare giusta ragione dei diversi fenomeni. Un bell' esempio di questa maniera è appunto l'acustica.

359. *Principii della formazione e propagazione del moto causa del suono.* Ci è noto che il suono si produce sempre pel tremore eccitato nelle molecole di un corpo (§ 52). Il tremore o l'oscillare delle molecole di un corpo, ciascuna intorno al suo luogo di equilibrio, si fa, come nel pendolo, di tal guisa che la velocità del moto cresce mentre la molecola si avvicina al luogo di equilibrio, e là tocca al suo massimo, poi diminuisce mentre la molecola se ne allontana. Le oscillazioni delle molecole di uno stesso corpo sono isocrone, cioè si compiono tutte in egual tempo, siano grandi o piccole fin da principio, o siano già diventate minime e prossime ad estinguersi (§ 51). Partiamo da questo fatto, il tremore delle molecole dei corpi, e cerchiamo le sue conseguenze per applicarle a spiegare i fenomeni del suono.

Il tremore delle molecole dei corpi quale effetto dovrà produrre nei mezzi che circondano i corpi, per esempio, nell'aria? In una massa che si trovi in equilibrio per le forze molecolari che vi sono vigenti, e tale è un mezzo in quiete, le particelle stanno in siffatta relazione che nessuna di esse può avvicinarsi ad un'altra o se ne può allontanare senza destarvi un movimento nella direzione medesima del proprio moto. Si immagini dentro un mezzo omogeneo una serie di molecole sue, tutte uguali, che siano contigue lungo una retta, e si supponga che la prima molecola riceva un impulso nel verso della retta.

Se le molecole fossero incompressibili, dovrebbe l'intera serie moversi contemporaneamente e tutta alla stessa guisa nella direzione dell'impulso. Ma le molecole sono compressibili ed espansibili, ed inoltre sono elastiche; perciò la propagazione del moto nella serie non può farsi che in una certa durata di tempo. Diffatti, mentre l'impulso opera a spingere innanzi la prima molecola, questa dee venirne compressa, giacchè le vicine sue non possono cedere subitamente alla pressura. La molecola più vicina (la seconda) resiste fino a che siasi destata in lei una velocità pari a quella che rimane alla prima, e nel resistere si comprime anch'essa. A questo punto ambedue le molecole hanno una velocità uguale, che è la metà di quella che l'impulso avrebbe destato nella prima molecola se fosse stata sola e libera; di più ambedue le molecole si trovano in istato di compressione e tendono per la elasticità a ritornare alla forma naturale. Nell'atto di questo ritorno la seconda molecola per la distensione della prima, la quale distensione si fa con forza pari a quella che produsse la compressione, riceve ancora una spinta che raddoppia la velocità sua, e intanto la prima molecola, per la spinta contraria che riceve dalla distensione della seconda, perde ogni sua velocità, onde resta poi in quiete. E così il risultato è quale sarebbe se la prima molecola avesse comunicato alla seconda tutto il suo moto. Il vero è che il moto non si comunica dall'una all'altra molecola, ma in conseguenza delle azioni e reazioni suddette, si estingue nella prima e si desta nella seconda, mercè le forze che sono proprie delle particelle di ciascheduna (§ 27). Quel che la prima sulla seconda fa la seconda sulla terza, e la terza sulla quarta, e via via discorrendo lungo tutta la serie. Al quale effetto, o alla quale sequela di effetti, è chiaro che si richiede un certo tempo.

La grandezza della compressione, a pari natura delle molecole, dipende dalla energia dell'impulso dato alla prima di esse.

Se, non appena la prima molecola è tornata in quiete, essa riceve un secondo impulso, questo si propaga in tutta la serie come il primo, e ne segue che vi sono poi nello stesso tempo due molecole in moto e compresse, contigue l'una all'altra. Per tre impulsi che si succedano alla maniera suddetta vi sono tre molecole contigue in moto e compresse, e così di seguito.

Le molecole che in un certo istante sono in moto e compresse si troveranno sulla linea, tanto più discoste dal princi-

pio di essa quanto è maggiore il tempo decorso dal primo impulso.

Se gli impulsi hanno tutti uguale intensità, anche codeste molecole saranno mosse e condensate in egual grado; ma se nella intensità dei singoli impulsi v'è una differenza, questa farà, per così dire, un ritratto di sè nella diversa grandezza delle condensazioni.

Sulla prima molecola non operi, come abbiamo supposto, un impulso che la spinga innanzi nella direzione della linea, ma operi una trazione pel verso contrario, la quale tenda a scostarla dalla molecola contigua; si avrà, invece della compressione della molecola, una distensione, una rarefazione; e le molecole tenderanno a scostarsi l'una dall'altra all'indietro nel verso della trazione; ma non potranno farlo in un subito per la resistenza delle forze molecolari che vigono in tutto il sistema; del resto il movimento si propagherà, come prima, in avanti nella direzione della linea. E così la direzione, secondo la quale si propaga l'effetto della trazione sarà opposta a quella in cui le parti vengono mosse dalla trazione medesima. Alla prima trazione succeda una seconda, e a questa una terza, ecc., ognuna dal canto suo si propaga, e quindi si ha contemporaneamente un certo numero di molecole in istato di rarefazione.

Se l'intervallo di tempo fra due impulsi consecutivi, e l'intervallo fra due consecutive trazioni sono tutti uguali tra loro, e se anche la serie degli impulsi e la serie delle trazioni sono disgiunte da un medesimo intervallo, ne viene che sulla linea la serie delle molecole rarefatte tien dietro alla serie delle condensate, e ne è disgiunta solo da una molecola ritornata allo stato naturale.

In fine se gli impulsi e le trazioni, in quanto alla energia, seguono gli uni e le altre, nella rispettiva loro serie, una medesima legge di successione, l'ordine delle condensazioni prodotte dagli uni sarà pari all'ordine delle rarefazioni cagionate dalle altre.

560. *Onde sonore.* Ritenute queste conseguenze necessarie della meccanica, facciamoci a considerare più davvicino l'effetto del moto vibratorio delle molecole dei corpi nel mezzo omogeneo ambiente, e vediamo come si può graficamente rappresentare questo effetto. Per dare anche un passo di più verso il fatto della generazione del suono per opera di un corpo, prendiamo in esame l'effetto che la superficie vibrante del corpo fa in una colonna d'aria.

Sia SS (fig. 238) una superficie che vibri da SS ad S'S' e CA una colonna d'aria. Il tempo brevissimo T che la superficie impiega a fare l'incursione SS' si immagini diviso in molti piccoli istanti, in ciascuno dei quali la superficie avanzandosi dia un urto alle molecole contigue dell'aria. L'impulso comunicato dal primo urto alle molecole d'aria in contatto colla superficie le agita e le condensa per un solo momento e passa con la velocità del suono ad agitare gli strati della colonna paralleli ad SS; così dopo il tempo T agita lo strato in A distante da SS dello spazio che il suono può percorrere in questo tempo. I singoli strati da C ad A tornerebbero tosto gli uni dopo gli altri alla quiete ed alla densità normale se al primo urto non tenessero dietro gli altri degli istanti successivi del tempo T. Ciascuno di tali urti dà un impulso che propagandosi nello stesso modo arriva alla fine del tempo T ad agitare uno strato la cui distanza da SS è proporzionale al tempo decorso dall' istante dell'urto. Le molecole d'aria in C' ricevono l'ultimo impulso appunto quando la superficie termina la sua incursione. La serie degli strati che trovansi contemporaneamente agitati da C' fino ad A costituisce ciò che si chiama un'*onda sonora*. La lunghezza dell' onda sonora è dunque uguale allo spazio che il suono percorre nel tempo che dura la incursione che ha generato l'onda, meno il piccolo spazio CC' della incursione della superficie il quale è generalmente trascurabile.

Fig. 238.

I tremiti negli strati estremi C' ed A dell'onda sono i più deboli perchè la velocità della superficie SS è sul principiare e sta per estinguersi negli istanti che li ha impressi; ed i tremiti nello strato medio sono invece i più forti perchè la velocità della superficie è massima alla metà della corsa. Si rappresenta in un modo sensibile questa costituzione dell'onda sonora mediante una curva C'PQRA (fig. 239) le cui ordinate 1P, 2Q, 1R crescono o diminuiscono come le grandezze dei tremiti delle particelle negli strati 1, 2, 1 dell'onda sonora.

La superficie SS fa le sue vibrazioni passando in S'S' e ritornando in SS, al di qua e al di là della sua situazione di

equilibrio *ss*. Noi abbiamo considerato il primo di questi movimenti verso la colonna aerea. Per esso gl'impulsi spingono le molecole contro quelle che vanno innanzi, le molecole si comprimono l'una l'altra, e l'onda che ne risulta si dice di *condensazione*. Ma nel secondo movimento quando la superficie retrocede, i tremiti sono causati dalle dilatazioni quasi istantanee delle molecole aeree che si trasportano verso lo spazio che vien ceduto dalla superficie vibrante, e si ha l'onda che si dice di *rarefazione*. Questa si rappresenta con una linea C'TUVB (fig. 240) convessa all'ingiù

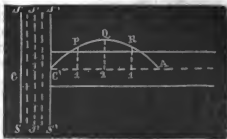



Fig. 239.

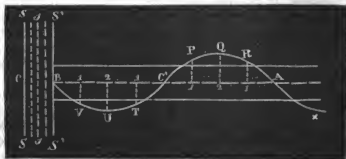



Fig. 240.

per denotare che i tremiti importano effetti contrarii a quelli dell'onda di condensazione C'PQRA. La serie delle onde alternative generate dalle vibrazioni della superficie sonora è dunque rappresentata da una linea serpeggiante BUC'QAX... che procede lungo l'asse della colonna aerea.

Si vede che le parti della colonna aerea si movono solo dentro un piccolissimo spazio, eguale allo spazio (CB) in cui vibra la superficie sonora. Non è la serie degli strati aerei, ma è la serie dei movimenti e delle modificazioni costituenti l'onda quella che si propaga nella colonna. Chiameremo *ondulazione* la coppia di un'onda condensata e di un'onda rarefatta, cioè la serie degli strati che ricevettero modificazioni per un'andata ed un ritorno della superficie vibrante.

361. *Propagazione delle onde sonore nell' aria libera.* Se dal caso di una colonna d'aria passiamo al campo dell' atmosfera supponendola uniforme, vediamo come i tremiti eccitati in un punto di essa debbano generare ondulazioni sonore che vadano pigliando il largo tutto all'ingiro in forma sferica e si propaghino, dove non incontrano ostacoli, conservando sempre le loro lunghezze e tutti i loro caratteri. Queste ondulazioni, quando pervengono al timpano dell'orecchio, si frangono, per così dire, contro di esso, titillandolo variamente a seconda delle differenze che occorrono in tutta la loro lunghezza, e così fanno quella impressione che trasmessa al nervo acustico cagiona la sensazione.

Si dice *raggio sonoro* una serie rettilinea di particelle vibranti che abbia capo dalla origine del suono, ossia dal centro delle onde. Evidentemente un raggio sonoro segna la direzione per cui si propaga un certo tremito di un' onda la quale si va allargando.

È chiaro che il suono può propagarsi in tutti i corpi elastici, e che nel vuoto, dove non c'è materia che possa ricevere le modificazioni costituenti le onde, non vi può essere propagazione di suono. Un suono prodotto al di là dell'atmosfera non può venire sino a noi. Un fenomeno che apparisca nelle alte regioni sopra la terra, sol che ci mandi un suono, è un fenomeno atmosferico.

362. *Calcolo della velocità del suono.* Si prese a ricercare col calcolo quale sia il valore generale della velocità del suono in un fluido espansibile omogeneo. Newton, Lagrange, Laplace applicarono l' ingegno all' arduo problema. Si trovò una formola (1) che stabilisce come la velocità del suono dipenda dalla forza espansiva del fluido, ossia dalla pressione equivalente a cui esso è soggetto, e dalla densità sua e dalla ragione che vi è tra il calorico specifico del fluido a pressione costante e quello a volume costante, vale a dire dalla ragione della quantità di calore che si farebbe latente nel fluido quando questo si riscaldasse di un grado sotto una pressione costante per cui potesse crescere a poco a poco di volume, alla quantità di calore che il fluido richiederebbe per scaldarsi di un grado

(1) La formola $V = \sqrt{\frac{rE}{D}}$, in cui V è la velocità del suono, r la ragione tra il calorico specifico del fluido a pressione costante e quello a volume costante, E la forza espansiva del fluido, D la sua densità.

quando non potesse cambiar di volume, cioè quando fosse rinchiuso in un vaso. È chiaro che la prima quantità supera la seconda di tutto il calore che si fa latente per la dilatazione.

Prima di Laplace non si era sospettato che la temperatura dell'aria dovesse variare per effetto delle onde sonore che vi si propagano, e però, ammettendo per la legge di Mariotte che le forze espansive fossero proporzionali alle densità, non si poneva nella formola suddetta la ragione tra i due calorici specifici. Ne veniva che la velocità del suono nell'aria, calcolata con la formola, era minore di quella trovata con le esperienze. Laplace, investigando la cagione della differenza, avvisò che nelle piccole compressioni e dilatazioni che si producono nell'aria al trasmettersi delle vibrazioni sonore, debba farsi libero del calorico per l'onda condensata e farsi latente del calorico per la rarefatta; e che le variazioni conseguenti di temperatura e però di forza espansiva non possano svanire in quel brevissimo tempo della vibrazione e siano da mettere in conto nella formola. I valori di queste variazioni per l'aria misurati con esperienze apposite, ragguagliano abbastanza bene le partite. Così il calcolo è in accordo col fatto, e la velocità del suono ha spiegazione completa. Anzi il legame tra gli elementi della formola ci abilita a trovare i calori specifici dei gas per mezzo della velocità del suono data dalle esperienze, il quale metodo riesce meglio sicuro degli altri.

Ecco la velocità del suono in alcuni gas a 0°.

Acido carbonico	216ᵐ	al minuto secondo
Ossigeno	317	» »
Aria	333	» »
Ossido di carbonio . . .	337	» »
Idrogeno	1269	» »

Ora si vede perchè i suoni tutti si propagano con la medesima velocità in uno stesso fluido, e perchè cresce la velocità all'elevarsi della temperatura. Egli è che gli elementi della formola sono proprii del fluido e non hanno relazione con la natura dell'impulso, bensì hanno relazione con la temperatura del fluido stesso la cui forza espansiva cresce se la temperatura s'innalza.

Nell'aria tranquilla ad uguale temperatura e ad uguale umidità i suoni si propagano sempre con la medesima velocità, sia il tempo nuvoloso o sereno, sia di giorno o di notte. Ma se

fa vento, questo accresce o diminuisce la velocità del suono di tutto il valore della componente della velocità sua che è favorevole o contraria all'andamento del suono.

Si applicò il calcolo anche a cercare la velocità del suono in varie sostanze solide, o per mezzo del numero delle vibrazioni fatte in un certo tempo da verghe di quelle sostanze, o per mezzo del loro coefficiente di elasticità. In questo modo Chladni, Savart, Masson, Wertheim trovarono essere la velocità del suono nei diversi legni da 10 a 16 tanti che nell'aria, e nei metalli da 4 a 16 tanti.

363. *Riflessione del suono. Eco. Risonanze.* La dinamica dimostra come gli elementi delle ondulazioni sonore, quando nel propagarsi giungono a trovare degli ostacoli, abbiano a riflettersi con le medesime leggi della riflessione dei corpi elastici, che sono pur quelle della riflessione della luce e del calorico raggiante. Le onde (MCDN, fig. 241) che hanno origine da un punto (A), quando si abbattono ad un ostacolo (PQ), ritornano indietro in forma di nuove onde il cui centro comune è in un punto (*a*) simmetrico al punto di origine rispetto alla superficie dell'ostacolo. Così un raggio sonoro qualunque (AC) si riflette secondo la retta (CR) che fa nel piano individuato da esso e dalla normale (CH) all'ostacolo nel punto d'incidenza un angolo (RCH) uguale all'angolo (ACH) d'incidenza.

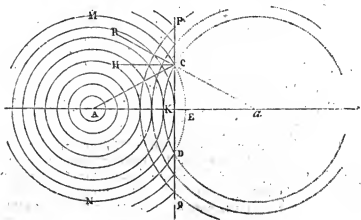



Fig. 241.

A dare l'eco bisogna che il suono riflesso, ritorni verso

l'uditore che ha già percepito il suono diretto. Bisogna inoltre che l'ostacolo riflettente disti dall'uditore almeno 17 metri. Ecco il perchè. Anche nell'udito come nella vista (§ 146, 5.ª) l'impressione dura un poco, tanto che non si distingue un suono da un altro che gli tien dietro, se questo non fa l'impressione un decimo di minuto secondo dopo di quello. Ora la velocità del suono, alla temperatura media dell'aria nostra, essendo circa 340 metri per secondo, il suono in un decimo di secondo corre 34 metri. Se l'ostacolo è distante 17 metri dall'uditore, il suono nell'andare da lui all'ostacolo e nel ritornare a lui fa appunto 34 metri, e ci mette un decimo di minuto secondo; però il suono riflesso arriva all'orecchio un decimo di minuto dopo il suono diretto, e non si confonde con questo, ma viene udito distinto. Così non sarebbe se arrivasse prima, vale a dire se l'ostacolo fosse a distanza minore.

Nel parlare ordinario si pronuncia 10 sillabe in ogni minuto secondo, cioè una sillaba in un decimo di minuto; dunque chi parla di contro ad un ostacolo distante soli 17 metri, non può avere dall'eco se non una sillaba alla volta, e non distingue nell'eco di più sillabe se non l'ultima proferita: l'eco in questo caso è *monosillaba*. Dove l'ostacolo è distante 2 volte, 3 volte.... 17 metri, l'eco è *bisillaba*, *trisillaba*, ecc.

Se il sito e la distanza dell'uditore, per rispetto alla origine del suono ed al luogo della riflessione, son tali che l'onda riflessa colpisca l'orecchio mentre dura ancora l'impressione della diretta, le due sensazioni si raggiungono l'una all'altra; non c'è l'eco, ma c'è un prolungamento del suono primiero, una *risonanza*, un *rimbombo* che nuoce all'audizione distinta.

Nelle chiese, nelle aule, nei teatri, dov'è necessario di udire chiaramente un discorso, l'eco e la risonanza sarebbero incomode. Si evitano coll'impedire che si formino sistemi regolari di onde riflesse, o spargendo le pareti di rialzi e di cavità irregolari o coprendole di arazzi morbidi che non favoriscano la riflessione ed ammorzino il suono. Nei teatri servono già all'uopo le logge ed i sedili, nelle chiese gli addobbi e gli ornamenti; nelle aule possono servire le tappezzerie di carta o d'altro. E vi giova anche la folla dell'uditorio; qualche sala che vuota dà risonanza, non la dà più se piena di gente.

364. ***Rifrazione del suono.*** Sondhauss ha verificato recentemente che il suono si rifrange al pari della luce e del calorico raggiante [1]. Si tagliano da un gran pallone di collodio

(1) Poggendorff, *Annalen der Physik.* T. 85, pag. 378.

due calotte uguali, che si congiungono insieme tutto all'ingiro sull'orlo, applicandole entrambe ad un medesimo anello di latta. S'intromette dell'acido carbonico a gonfiare il sistema. Ecco formata una lente di gas acido carbonico rattenuto da un'invoglia di collodio. Posto da una parte della lente in sull'asse di questa un orologio da tasca, si cerca dall'altra parte coll'orecchio il luogo dove i battiti si odono meglio. Il luogo trovato è sempre sull'asse e ad una certa distanza dalla lente: se l'orecchio si avvicina dippiù alla lente o si scosta un poco dall'asse, il suono torna molto più debole. Ciò prova che i raggi sonori che attraversano la lente si piegano e convergono in un luogo dell'asse, cioè si rifrangono. Si può sostituire all'orologio una piccola canna d'organo e mostrare all'occhio il sito del fuoco rintracciandolo con una membrana sparsa di fina sabbia.

365. *Forza o intensità del suono.* L'intensità del suono cresce o diminuisce secondo che cresce o diminuisce l'ampiezza delle vibrazioni del corpo sonoro, e però la grandezza dei tremiti o delle modificazioni che costituiscono l'onda. Il suono dato da una corda vibrante s'indebolisce mano mano che le oscillazioni si vanno impiccolendo.

Le dottrine idrodinamiche dimostrano che l'intensità del suono trasmesso, in condizioni uguali, da fluidi aeriformi diversi è proporzionale alla loro densità. Le esperienze di Priestley, Perolle ed altri comprovano la legge.

In uno stesso fluido l'intensità del suono che si propaga liberamente, diminuisce come crescono i quadrati delle distanze dal corpo sonoro. Questa legge è una conseguenza della propagazione sferica delle onde. I tremiti impressi alle prime molecole del fluido devono indebolirsi mano mano che si trasmutano a un maggior numero di molecole. La meccanica dimostra che le velocità dei tremiti che si propagano diminuiscono in ragione diretta delle distanze dall'origine; ora se, com'è ragionevole, si ammette che l'intensità del suono sia misurata dalla forza viva dell'impulso sul timpano, cioè da una quantità proporzionale al quadrato delle velocità, conviene che l'intensità del suono diminuisca come crescono i quadrati delle distanze dall'origine del suono. Gli esperimenti pare che facciano buona rispondenza alla legge.

Se il suono si propaga in una colonna cilindrica di fluido, non sussiste la ragione del decremento d'intensità per le distanze. Biot fece la prova coi tubi degli acquedotti di Parigi

sopra una colonna d'aria lunga 951 metri. Il parlare sommesso a un capo della colonna si udiva benissimo all'altro capo. Cercai, egli dice, il limite di fievolezza della voce che non facesse alcun effetto, ma indarno; per non udire più nulla bisognava proprio non parlare affatto. Se i tubi hanno diametro grande, o non sono in retta linea ma fanno dei gomiti, il suono vi perde sensibilmente d'intensità. In molti alberghi e stabilimenti industriali si trasmettono gli ordini, da una camera ad un'altra distante, per tubi di gomma elastica di piccolo diametro.

Un suono riceve forza da una massa d'aria circoscritta vicina all'origine sua, la quale possa mettersi in vibrazione per esso. Una corda che vibri all'aria libera manda suono debole, ma se è tesa sopra una cassa, manda suono pieno ed intenso. Di qui l'uso della cassa o *corpo* degli stromenti a corda, per esempio, della chitarra, del violino, del contrabasso, ecc. Ecco un apparecchio di Savart per dimostrare il fenomeno. Ad una coppa emisferica (A fig. 242) di bronzo, fissa in un sostegno,

Fig. 242.

sta vicino un cilindro cavo di cartone (B), aperto una base e chiuso l'altra; il quale può farsi girare sul proprio sostegno applicando la mano ad una impugnatura che sporge dalla base chiusa; e può anche essere avvicinato più o meno alla coppa

facendo scorrere un'asta (C) che connette il sostegno suo alla base del sostegno di questa. Disposto il cilindro con la bocca verso la coppa, si mette in vibrazione la coppa sfregandone il labbro con un robusto archetto. Si ha un suono forte e pieno, perchè vibra anche l'aria nel cilindro. È facile provare quanto ella contribuisca alla intensità del suono; se mentre il suono dura si gira il cilindro a rivolgere la bocca in altro verso, il suono perde subito molto della sua intensità; se lasciato il cilindro nella prima giacitura, lo si allontana poco a poco dalla coppa, il suono s'indebolisce grado grado.

366. *Suono musicale o tuono. Rumore.* Adesso ci è dato vedere d'onde proceda la differenza tra un suono ed un rumore. Le vibrazioni isocrone delle molecole dei corpi sonori generano nell'aria le onde, tutte di uguale lunghezza e di uguale durata; e queste fanno sull'organo dell'udito pulsazioni periodiche ed equidistanti; la sensazione che ne risulta è quella di un suono dicevole alla musica, il quale si dice *tuono*, e che dipende appunto dalla lunghezza e dalla durata delle onde. Il suono potrà essere bensì più o meno forte quando le vibrazioni della superficie sonora siano più o meno estese, e quindi le velocità conseguenti nelle particelle aeree siano più o meno grandi, ma il tuono rimarrà lo stesso, giacchè per l'isocronismo di quelle vibrazioni rimane costante la lunghezza e la durata delle ondulazioni dell'aria. Se invece le vibrazioni delle molecole dei corpi si compiono in tempi ineguali per qualche causa perturbatrice, o durano un tempo troppo corto, le onde riescono di lunghezze ineguali, fanno tremare il timpano ad intervalli ineguali di tempo o per un tempo non sufficiente ad apprezzare il loro isocronismo, e allora la sensazione è di un *rumore* incapace di servire alla musica.

367. *Scala diatonica. Scala musicale. Unissono. Consonanze. Dissonanze.* Un senso di gusto che si attiene alla nostra organizzazione, ci fece adottare sette intervalli che regolano tutti i suoni, o come diconsi *note*, che si usano nella musica, e sono gl'intervalli per i quali procede la voce quando si intuonano le note chiamate

do, re, mi, fa, sol, la, si, do.

La progressione di queste otto note si dice *scala diatonica*. La prima nota si dice la *chiave* o la *fondamentale*, e le successive si dicono per ordine *seconda*, *terza*, *quarta*, *quinta*,

sesta, *settima*, ed *ottava*. La qualità per cui si distinguono queste note nella scala diatonica si designa col dire che l'una è più *grave* o più *bassa* delle seguenti e più *acuta* o più *alta* delle precedenti.

Si chiama *scala musicale* la serie intera di suoni che si ottiene continuando la scala diatonica da ambedue le parti col medesimo ordine d'intervalli da suono a suono che c'è in questa. La scala musicale si distingue in diversi periodi a sette note ciascuno (dal *do* al *si* inclusive), dette *gamme* o *solfe*; le note similmente situate in ogni gamma sono di egual nome.

Se si intuonano due note a un tempo, le quali siano al medesimo posto della scala, per esempio, due *do* della stessa gamma, elle si fondono al nostro orecchio in un suono unico, e si dice che sono *all'unissono*. Si dice che sono all'unissono anche gli strumenti che le mandano. Così una corda da violino è all'unissono con la voce umana, o col flauto, quando la voce e questi strumenti danno la stessa nota.

Certi suoni se vengono insieme al nostro orecchio fanno una sensazione piacevole che si chiama una *consonanza* od un *accordo;* tali sono, per esempio, la chiave e la quarta, la chiave e la quinta, la chiave e l'ottava; certi altri fanno una sensazione che non è piacevole e si chiama una *dissonanza;* per esempio, la chiave e la seconda, la chiave e la settima.

Si è ignorato per lungo tempo da quali condizioni fisiche dipenda che un suono sia grave od acuto, e che due suoni facciano insieme una consonanza od una dissonanza. Giamblico narra che Pitagora nel passare dinanzi ad una officina di fabbro ferraio mentre si batteva a quattro martelli sopra un incudine, notò che i quattro suoni stavano tra loro come la chiave, la quarta, la quinta e la ottava. Fece pesare i martelli e trovò che i pesi stavano tra loro come 1 a $^4/_3$ a $^3/_2$, a 2. Tornato a casa volle subito sperimentare quali suoni si hanno da una corda che sia tesa successivamente da pesi proporzionali ai suddetti, e riconobbe che si hanno le quattro note medesime dei martelli. Il racconto o è tutto favola, o è molto falsato. I suoni dati da un incudine non tengono codesta relazione coi pesi dei martelli, nè i suoni dati da quella corda sono quali si dice. Sembra bensì che Pitagora abbia scoperto che se due corde simili, tese ugualmente, sono lunghe l'una la metà dell'altra, la più corta suona la ottava della nota che suona la più lunga, e se la più corta è solo due terzi della più lunga suona la quinta, se è tre quarti suona la

quarta. E vuolsi ch'egli riponesse la cagione delle consonanze di siffatti accordi nella semplicità dei rapporti 2 : 1 ; 3 : 2 ; 4 : 3 esistenti tra le lunghezze delle corde che danno i suoni.

Galileo ha dimostrato che queste dottrine attribuite a Pitagora sono incomplete. Egli osservò che vi hanno tre modi per rendere più acuto il suono di una corda (1), o accorciarla, o tenderla più forte, o assottigliarla, cioè diminuire il suo peso. Se vuolsi, per esempio, che il suono di una corda passi alla ottava di quello che è, si può fare o col ridurre la lunghezza della corda alla metà, o col renderne quadrupla la tensione, o coll' assottigliare tanto la corda che il peso riesca solo un quarto di prima. Non v'ha dunque una ragione per attribuire la consonanza della chiave e della ottava al rapporto 2 : 1 delle lunghezzze delle corde, come vuolsi che abbia fatto Pitagora, anzi che al rapporto 1 : 4 delle tensioni, o 4 : 1 dei pesi: analogamente si dica degli altri accordi. La gravità od acutezza dei suoni, disse quasi indovinando il Galileo, dipende dal maggiore o minor numero di vibrazioni che fanno in egual tempo i corpi che li producono. Le vibrazioni generano altrettante onde sonore che imprimono altrettanti tremiti al timpano. Quanto più sono rapidi a succedersi questi tremiti, ossia quanto è più grande il numero di essi in un dato tempo, l'udito ha la percezione di un suono tanto più acuto. Se i tremiti corrispondenti a due suoni si succedono ad intervalli uguali, o ad intervalli che stanno tra loro in una ragione espressa da numeri piccoli, l'udito trova i suoni unissoni nel primo caso, consonanti nel secondo. Così Galileo completò le dottrine di Pitagora e scoperse il vero principio dell'armonia in virtù del quale questa parte di musica venne accolta nel dominio delle matematiche.

368. *Espressione numerica delle note. Spiegazione delle consonanze.* Il principio che il genio di Galileo, dietro alcuni indizi sperimentali, aveva indovinato venne poi nel progresso della fisica matematica a confermarsi per i lavori di Taylor, Newton, Daniele Bernouilli. Un modo facile di verificarlo è col mezzo delle vibrazioni trasversali di una corda omogenea, tesa, cioè delle vibrazioni che avvengono in direzione perpendicolare alla sua lunghezza, le quali si eccitano o sfregandola con un archetto, come nel violino, o pizzicandola con le dita, come nell'arpa. La corda, distolta con questi mezzi dalla sua

(1) *Dialogo primo intorno a due scienze nuove.*

posizione rettilinea e poi lasciata a sè, ritorna verso la posizione rettilinea per effetto della sua propria elasticità; essendo l'elasticità una forza continua, la corda nel ritorno si move di moto accelerato e giunge in quella posizione con una certa velocità; per l'inerzia passa oltre dalla parte opposta fin tanto che la velocità sua non sia annullata dalla reazione prodotta dalla tensione; allora ella torna indietro; e così vibra più e più volte come un pendolo, finchè la resistenza dell'aria indebolendone il moto non la rimette in quiete.

La corda sia disposta sopra una cassa di legno sottile (fig. 243)

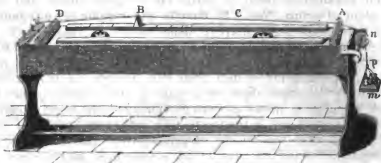



Fig. 243.

che ne rinforzi il suono; sia ferma un capo ad un piuolo che sorga da una estremità della cassa, e due ponticelli fissi (D, A) la reggano a qualche distanza dalla cassa. All' altra estremità di questa la corda si appoggi su d' una carrucola fissa e al capo che ne pende sia applicato un peso che mantiene e misura la tensione. Un terzo ponticello (B) mobile lungo la cassa valga a segnare il limite di quella parte di corda che si vuol mettere in vibrazione. Così può farsi variare la tensione e la lunghezza della corda vibrante col variare il peso che la tende e mutare di luogo il ponticello mobile. L'apparecchio descritto si dice *sonometro*, e se ha una corda sola si dice anche *monocordo*.

Ecco ora l'esperimento che dimostra la verità del principio di Galileo. Si dà alla corda una tensione per cui vibrando si trovi all'unissono con un *do* di uno strumento di musica, poi, serbata costante la tensione, si fa variare successivamente la lunghezza della corda in guisa da averne una dopo l'altra le sette note consecutive della scala diatonica. Si trova che assunta come unità la lunghezza che ha la corda quando suona

il primo *do*, le altre lunghezze sue quando suona le note successive sono rappresentate dai numeri:

do	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{1}{2}$

Una formola rinvenuta col calcolo e comprovata a parte a parte dalle esperienze (1) stabilisce le seguenti leggi circa il numero delle vibrazioni trasversali fatte dalle corde in tempi eguali. Questo numero è:

1.° In ragione inversa della lunghezza della corda;

2.° In ragione inversa del raggio di essa.

3.° In ragione diretta della radice quadrata del peso che la tende;

4.° In ragione inversa della radice quadrata della densità della sostanza di cui è fatta.

Per la prima legge i numeri delle vibrazioni che nell'esperimento suddetto la corda fece in tempo eguale, ma ridotta successivamente alle diverse lunghezze notate, stanno tra loro nelle ragioni seguenti:

do	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

Questa serie è appunto l'espressione del principio di Galileo.

Recentemente il prof. Doppler avvisò che quando pure un corpo sonoro continui a fare le sue vibrazioni con una data rapidità, può il suono riuscire all'udito o più acuto o più grave se i tremiti corrispondenti si succedono all'orecchio o più prossimi tra loro o meno prossimi, come dee avvenire se per un moto veloce si diminuisca o si accresca la distanza tra il corpo sonoro e l'uditore. Suppongasi che il corpo, mentre suona si avvicini velocemente all'uditore o che questo si avvicini a quello: l'intervallo di tempo tra due fasi successive simili di vibrazione nel corpo sonoro sarà più lungo dell'intervallo tra le impressioni corrispondenti all'orecchio, perciocchè il tremito

(1) $n = \frac{1}{lr}\sqrt{\frac{p}{\pi d}}$ dove n è il numero delle vibrazioni fatte in un dato tempo, l la lunghezza della corda, r il raggio della sua sezione, p il peso che la tende, d la densità della materia ond'è formata.

aereo che reca all'orecchio la seconda impressione fa cammino più breve di quello che vi reca la prima, onde arriva più presto che se la distanza tra il corpo e l'uditore non si fosse diminuita. Egli è per l'uditore come se le vibrazioni del corpo sonoro fossero diventate più rapide; il suono dunque deve tornare più acuto. Se il corpo si allontana dall'uditore, o questo da quello, il suono deve tornare più grave per la ragione contraria. Le esperienze fatte con locomotive portanti il corpo sonoro che si avvicinino o si allontanino dall'uditore confermano la sentenza di Doppler. Data la velocità del moto relativo del corpo sonoro e dell'uditore si può calcolare preventivamente quale mutazione del suono debba seguirne.

Nella serie suddetta si vede ancora che le note le quali fanno insieme una consonanza, come la chiave e l'ottava, la chiave e la quinta, la chiave e la quarta, sono quelle i cui numeri di vibrazioni stanno tra loro secondo i rapporti espressi da numeri piccoli 1 : 2, 2 : 3, 3 : 4, e le note che fanno una dissonanza, come la chiave e la seconda, la chiave e la settima, quelle i cui numeri di vibrazioni sono tra loro in rapporti espressi da numeri meno piccoli 8 : 9, 8 : 15.

Ma per quale ragione fisiologica nasce da siffatta differenza di rapporti una consonanza od una dissonanza. Noi abbiamo la facoltà di percepire due note contemporanee distintamente e di percepire al tempo stesso il suono composto ch'elle formano. In questo suono composto avvertiamo le alternative periodiche con cui esso acquista e rimette di forza all'accordarsi o al contrastarsi che fanno gli impulsi di un suono con quelli dell'altro. Pare che la sensazione gradita di una consonanza dipenda da ciò che quando le coincidenze degli impulsi tengonsi dietro a brevissimi intervalli, gli effetti di esse all'udito si raggiungono l'uno all'altro e imprimono al suono un carattere che lo accompagna senza smarrirsi. Così è, per esempio, nel suono composto della chiave e della ottava, che si combina ogni impulso dell'una con due dell'altra nota; nel suono composto della chiave e della quinta che viene ogni secondo impulso dell'una a combinarsi con ogni terzo impulso dell'altra, ecc. Invece nel suono composto, per esempio, della chiave e della seconda, solo ad ogni ottavo impulso di quella succede una combinazione con un impulso di questa e gli effetti di tali coincidenze distanti, poichè riescono discontinui all'udito, ci danno il senso di una dissonanza.

La chiave la terza e la quinta (*do*, *mi*, *sol*) danno la con-

sonanza triplice più gradita, la quale si dice perciò *accordo perfetto* o *triade armonica*. I numeri delle vibrazioni di queste tre note stanno tra loro come 4 : 5 : 6.

369. *Numero delle vibrazioni corrispondenti ai suoni diversi.* Quando si arrivi a conoscere il numero assoluto delle vibrazioni che per un certo suono qualunque si compiono in un certo tempo, si può trovare col mezzo dei rapporti suddetti il numero delle vibrazioni corrispondenti a tutti gli altri suoni. Vi sono parecchi modi per conoscere codesto numero: ne dico due.

Ruota dentata di Savart. Una panca di rovere ben ferma (fig. 244) ha nel suo mezzo una fenditura longitudinale con

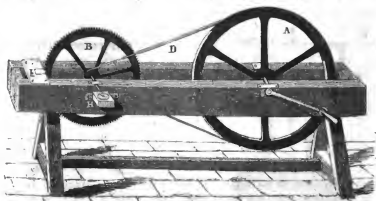



Fig. 244.

entro imperniate l'una dietro l'altra due ruote verticali (A,B). La più grande (A) si fa girare per un manubrio, ed essa, mediante una fune perpetua tesa (D) che cinge la sua periferia e l'asse dell'altra ruota minore (B), mette in movimento più veloce quest'altra, la quale è dentata, e girando urta coi denti l'orlo di una carta da gioco (E), fissa nei fianchi della panca. La carta fa una vibrazione per ciascun dente che passa; perciò ad ogni giro della ruota fa un numero di vibrazioni uguale al numero dei denti. Un congegno (H) applicato all'asse della ruota ne conta i giri, e serve a trovare il numero delle vibrazioni che fa intanto la carta. Se la velocità del moto è piccola si odono distinti gli urti dei denti alla carta; quando la velocità si accresce grado grado, le vibrazioni della carta formano un suono continuo che diventa più e più acuto. Rag-

giunto così il tuono che si vuole, serbasi costante la velocità del moto per alcuni secondi e si vede quanti giri fa la ruota in quei secondi; si divide il numero dei giri per il numero dei secondi e si ha il numero dei giri in ciascun secondo; il prodotto di questo numero per quello dei denti è il numero di vibrazioni corrispondente al suono in ciascun minuto secondo.

Sirena di Cagniard-Latour. Si chiamò sirena perchè può dare dei suoni anche sott'acqua. È una scatola cilindrica (O, fig. 245) di ottone, dentro la quale si può con un mantice spingere dell'aria a soffio continuo per un tubo applicato al fondo. Il piatto fisso che al di sopra la chiude è ben levigato ed ha dei fori disposti in cerchio ed equidistanti tra loro. Sul centro del piatto si appoggia un'asta verticale (T, fig. 246) a

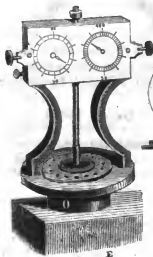
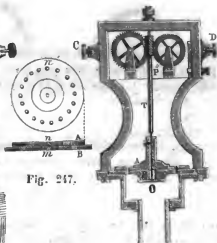



Fig. 245. Fig. 247. Fig. 246.

cui è unito un disco orizzontale (A) parallelo e vicinissimo al piatto; l'asta e il disco possono girare liberamente sull'asse comune. Anche il disco ha tanti fori quanti il piatto disposti allo stesso modo, cosicchè in una certa posizione del disco i fori suoi corrispondono a quelli del piatto, che allora sono aperti all'aria, ma per poco ch'esso giri viene col suo pieno a chiuderli. Il moto rotatorio del disco si ottiene per effetto dell'aria medesima soffiata nella scatola, perciocchè i fori non

sono in direzione perpendicolare ai piani del piatto e del disco, ma nel piatto sono tutti inclinati ugualmente per uno stesso verso, nel disco sono tutti inclinati ugualmente per l'altro verso; quando si corrispondono gli uni sopra degli altri la corrente aerea che sorge obbliqua da ciascun foro (*m*, fig. 247) del piatto urta e preme la parete di ciascun foro (*n*) del disco, donde il moto rotatorio del disco (nella direzione *n* A). L'asta (T) è in relazione all'alto con un sistema che serve a numerare i giri del disco; ecco il modo. La parte superiore dell'asta è foggiata a vite perpetua il cui filo mette in giro una ruota di 100 denti (la ruota a destra nella figura), facendo passare un dente ad ogni rotazione del disco; questa ruota, per un'appendice (P) che sporge a fianco della periferia, manda innanzi ad ogni giro un dente d'una seconda ruota (quella a sinistra nella figura). Gli assi delle due ruote portano due indici che si movono su due mostre segnandovi l'uno il numero dei giri del disco, l'altro le centinaja di giri. Due viti (D,C) servono a stringere e ad allentare il sistema per connettere la prima ruota con la vite perpetua e per liberarnela.

Adoperando col mantice si fa girare il disco; i fori del piatto vengono così ad essere aperti e chiusi tutti insieme più volte in breve tempo. Ad ogni giro l'aria esterna riceve da quella che esce dei fori tanti impulsi quante sono le volte che i fori si aprono. Si immagini per un momento che nel piatto vi sia un foro solo e nel disco ve ne siano 18; ad ogni giro del disco il foro del piatto verrà aperto e chiuso 18 volte; e se il disco fa 10,100... giri in un secondo, l'aria sarà spinta ed arrestata 180,1800... volte; e siccome per ciascuna alternativa si produce una vibrazione, giacchè l'aria compressa dal soffio prende ad espandersi al cessare di questo, così l'aria farà 360,3600... vibrazioni per secondo. La sirena produce in tal guisa dei suoni che si possono far salire per gradi insensibili nella scala dal grave all'acuto coll'accrescere a poco a poco la velocità di rotazione del disco. Ora siano 18 anche i fori del piatto, non crescerà per questo il numero delle vibrazioni, ossia l'altezza della nota, perchè vengono essi aperti e chiusi tutti contemporaneamente, bensì crescerà a 18 tanti l'intensità del suono.

A trovare il numero delle vibrazioni corrispondenti a un dato suono, si mantiene costante la velocità del disco perchè il suono duri il medesimo, si legge sulle mostre il numero di giri fatti in un certo tempo, se ne desume il numero di giri fatti in un

secondo, e si moltiplica questo numero per il doppio del numero dei fori del disco, cioè, nel caso suddetto, per 36.

La sirena, a pari velocità di rotazione dà il medesimo suono e nell'aria e in qualunque altro gas, e nell'acqua, il che prova come l'acutezza del suono dipenda soltanto dal numero delle vibrazioni, e non dalla natura dell'ambiente.

Vediamo ora quali numeri di vibrazioni corrispondono ai suoni diversi. E prima diciamo in che modo si usa rappresentare i varii suoni della scala musicale. Fu scelta come gamma fondamentale quella il cui *do* è il suono più grave del violoncello e del cembalo; si designano le note di essa col mettervi al piede l'indice 1, e le note delle gamme successive più alte coll'apporvi gli indici 2, 3,... e delle gamme più basse coll'apporvi gli indici — 2, — 3,...

Se diciamo 1 il numero di vibrazioni corrispondenti al do_1, si ha per le altre note più alte i numeri (§ 268).

do_1	re_1	mi_1	fa_1	sol_1	la_1	si_1
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$

Per le note delle gamme superiori i numeri di vibrazioni si ottengono moltiplicando successivamente per 2, per 4, per 8... i suddetti; per le note delle gamme inferiori dividendo quegli stessi numeri per 2, 4... giacchè al do_2, corrisponde il numero 2 (§ 268), e quindi al do_3, il numero 4... al do_{-1}, il numero $^1/_2$... Così, per esempio si ha:

do_2	re_2	mi_2	fa_2	sol_2	la_2	si_2
2	$\frac{9}{4}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{8}{3}$	3	$\frac{10}{3}$	$\frac{15}{4}$

Con la ruota di Savart o con la sirena si trova che il numero delle vibrazioni semplici (onde) corrispondenti, per esempio alla nota la_2 è di 428 in 1″. Se ne deduce che il numero delle vibrazioni corrispondenti al do_1 è 128, risultato che concorda con quello desunto da altre note diverse dal la_2.

Ecco la tavola dei numeri assoluti delle vibrazioni semplici corrispondenti alle note delle varie gamme.

do_{-2}	32	re_{-2}	36	mi_{-2}	40	fa_{-2}	42,5	sol_{-2}	48	la_{-2}	53,5	si_{-2}	60
do_{-1}	64	re_{-1}	72	mi_{-1}	80	fa_{-1}	85	sol_{-1}	96	la_{-1}	107	si_{-1}	120
do_1	128	re_1	144	mi_1	160	fa_1	170	ol_1	192	la_1	214	si_1	240
do_2	256	re_2	288	mi_2	320	fa_2	340	sol_2	384	la_2	428	si_2	480
do_3	512	re_3	576	mi_3	640	fa_3	680	sol_3	768	la_3	856	si_3	960
do_4	1024	re_4	1152	mi_4	1280	fa_4	1360	sol_4	1536	la_4	1712	si_4	1920
do_5	2048	re_5	2304	mi_5	2560	fa_5	2720	sol_5	3072	la_5	3424	si_5	3840
do_6	4096	re_6	4608	mi_6	5120	fa_6	5440	sol_6	6144	la_6	6848	si_6	7680
do_7	8192	re_7	9216	mi_7	10240	fa_7	10880	sol_7	12288	la_7	13696	si_7	15360
do_8	16384												

370. *Limiti dei suoni della voce umana, e dei suoni percettibili dall'orecchio umano.* La voce dell'uomo si estende comunemente dal sol_1 al fa_3, e della donna dal re_3 al la_4; dunque la voce dell'uomo può fare da 192 a 680 vibrazioni in un minuto secondo, e della donna da 576 a 1712. Sono questi i limiti ordinarii delle voci che l'uomo e la donna possono emettere ben piene e ben giuste; ma la voce di alcune donne e dei fanciulli passa oltre il la_4, e non si esagera dicendo che può fare 3 o 4 mila vibrazioni al minuto secondo.

Si riteneva, per alcune prove, che il nostro udito non valesse a percepire i suoni le cui vibrazioni fossero meno di 32 o più di 18000 al minuto secondo. Ma Savart dimostrò che la scala dei suoni percettibili è molto più estesa, e che se parve limitata a quei termini fu per difetto di intensità dei suoni che si producevano più alti o più bassi. Egli coll'accrescere il diametro della sua ruota (§ 269) vantaggiò l'ampiezza delle vibrazioni e quindi l'intensità del suono, e trovò che quando la carta dell'apparecchio riceve in ogni minuto secondo 24000 urti, per cui genera nell'aria 48000 vibrazioni semplici (una di condensazione ed una di rarefazione ad ogni urto), dà un suono acutissimo, ancora percettibile. Per cercare il limite dei suoni gravi sostituì nel suo apparecchio alla ruota dentata un'asta di ferro o di legno lunga 65 centimetri, e imperniata nel mezzo, la quale ruotando in un piano verticale ripassa co'suoi bracci

per una fenditura longitudinale larga 2 soli millimetri, fatta in una sottile assicella. Se il moto dell' asta è lento si ode come un colpo secco ad ogni passaggio di questo o di quel braccio per la fenditura, a cagione dell'aria che se ne rimove, ma quando il moto si accelera a fare 7 od 8 passaggi in un minuto secondo, si ha un suono continuo molto grave al quale corrispondono da 14 a 16 vibrazioni semplici al minuto secondo.

L'orecchio umano è dunque così finamente costituito che accoglie e discerne l'uno dall'altro tutti i suoni tra quello grave che fa 14 vibrazioni semplici al secondo, e quello acuto che ne fa 48000. È forse atto a percepire anche altri suoni fuori di questa serie sol che la intensità loro tocchi a un certo grado. Quanti suoni andranno per l'aere muti per noi, ma uditi da animali, il cui organo è conformato a riceverne l'impressione!

371. *Lunghezza delle onde corrispondenti ai suoni diversi.* Noto il numero delle vibrazioni semplici che corrispondono a un dato suono per ciascun minuto secondo, si calcola facilmente la lunghezza delle onde aeree che lo trasmettono. Infatti queste onde che danno il suono uniforme, poichè devono essere uguali e succedersi in un modo continuo le une alle altre, conviene che siano in numero tale da tenere tutta la lunghezza dello spazio che il suono percorre nell'aria in un minuto secondo. Se dunque si divide questo spazio che nell'aria, alla temperatura del nostro paese è di circa 337 metri, ossia circa 1024 piedi francesi, per il numero delle vibrazioni corrispondenti al suono dato, il quoziente esprimerà la lunghezza cercata dell'onda. Se la durata di ogni vibrazione semplice del corpo sonoro fosse di un minuto secondo, la lunghezza dell'onda aerea sarebbe di 1024 piedi; se la durata di ogni vibrazione fosse la metà, cioè il corpo facesse due vibrazioni per minuto la lunghezza dell'onda sarebbe la metà di 1024 piedi, e così discorrendo. Ora si è veduto che al *do*$_1$ corrispondono 128 vibrazioni semplici per minuto, dunque la lunghezza delle onde di quel suono è piedi $^{1024}/_{128} = 8$. Ecco la lunghezza delle onde corrispondenti alla prima nota di alcune gamme:

do$_{-3}$ . . .	piedi 64	*do*$_4$ . . .	piedi	1
do$_{-2}$	» 32	.		
do$_{-1}$	» 16	.		
do$_1$	» 8	.		
do$_2$	» 4	*do*$_8$		0, 0625.
do$_3$	» 2			

372. *Intervalli delle note.* In musica si chiama *intervallo* il rapporto di un suono ad un altro, ossia la quantità di che un suono è più elevato, nella scala, di un altro. L'intervallo da *do* a *re* si dice una *seconda*, da *do* a *mi* una *terza*.... da *do* a *do* un' *ottava*. Gli intervalli fra le note consecutive della gamma sono rappresentati numericamente dai quozienti che si hanno dividendo il numero di vibrazioni di una nota per quello delle vibrazioni della nota prossima più bassa.

Così per le note	*do*		*re*		*mi*		*fa*		*sol*		*la*		*si*		*do*
essendo i numeri relativi delle vibrazioni	1		$\frac{9}{8}$		$\frac{5}{4}$		$\frac{4}{3}$		$\frac{3}{2}$		$\frac{5}{3}$		$\frac{15}{8}$		2
gl'intervalli sono		$\frac{9}{8}$		$\frac{10}{9}$		$\frac{16}{15}$		$\frac{9}{8}$		$\frac{10}{9}$		$\frac{9}{8}$		$\frac{16}{15}$,	

i quali numeri evidentemente significano che il *re* conta $\frac{9}{8}$ delle vibrazioni che conta il *do*, che il *mi* conta $\frac{10}{9}$ delle vibrazioni che conta il *re*, ecc.

Questa serie mostra che non vi è il medesimo intervallo tra due note consecutive della gamma. Gl'intervalli differenti si riducono ai tre:

$$\frac{9}{8} \quad \frac{10}{9} \quad \text{e} \quad \frac{16}{15}$$

Il primo di questi intervalli, che è il più grande, si chiama *tuono maggiore*, il secondo *tuono minore*, e il terzo che è molto più piccolo, *semituono*. La ragione tra il tuono maggiore e il tuono minore è $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$ e si chiama *comma*; essa importa una differenza così piccola che a discernerla vuol essere un udito molto fino ed esperto.

Un intervallo di ottava è dunque formato per ordine da due tuoni, un semituono, tre tuoni, un semituono.

Le note della scala che fanno consonanza con la chiave si ottengono successivamente col dividere la corda che vibrando suona la chiave in 2, 3, 4 e 5 parti eguali. V'è un'altra nota che fa pure con la chiave una consonanza adottata nella musica ed è quella che si ottiene col dividere la corda in 6 parti uguali; chiamasi *terza minore;* è rappresentata numericamente da $\frac{6}{5}$. Ponendola nella gamma in luogo del *mi* terza ordinaria (*terza maggiore*), si ha la scala così detta *molle* (*modo minore*) per contrapposto alla scala *dura* (*modo maggiore*) che

ritiene la terza maggiore. L'intervallo tra la terza maggiore e la minore è $\frac{5}{4} : \frac{6}{5} = \frac{25}{42}$, e si chiama *semituono minore.*

373. *Diesis, bemolli.* Le differenze degli intervalli fra le note consecutive della gamma fecero sentire nella musica il bisogno di frapporre a quelle note altre note. Un pezzo di musica composto per il violoncello, se vuolsi eseguirlo su d'uno strumento più basso o più alto, conviene *ridurlo,* cioè conviene prendere una nota più grave o più acuta per punto di partenza, e mettere fra le note nuove i medesimi intervalli che ci sono fra le note prime. Altro caso: quando si compone un pezzo di musica per voci diverse o per istrumenti diversi, conviene per ciascuna voce o per ciascun istrumento partire da una nota diversa, ed affinchè la progressione dei suoni serbisi giusta e d'accordo in tutte le voci o in tutti gli istrumenti, è d'uopo che l'ordine degli intervalli tra la nota da cui si partì e le altre sia il medesimo per tutti. Ora in ambedue questi casi l'intento non si può conseguire con le sole note della gamma ordinaria perchè tra di esse ci sono intervalli troppo diversi. A provvedere che gl'intervalli fra i suoni successivi che servono alla musica non siano gran fatto diversi, e in pari tempo ad arricchire la scala, si frapposero alle note, dove l'intervallo è più grande (da *do* a *re*, da *re* a *mi*, da *fa* a *sol*, da *sol* a *la*, da *la* a *si*), altre note, quali si hanno od elevando un poco le antecedenti nell'intervallo, od abbassando un poco le conseguenti. Di qui le note *diesis* e le note *bemolle.* Portare una nota al diesis è farla un po' più acuta accrescendo il numero delle sue vibrazioni nel rapporto di 24 a 25; ridurre una nota a bemolle è farla un po' più bassa diminuendo il numero delle sue vibrazioni nel rapporto di 25 a 24. Così la gamma invece di 7 note ne conta 12 che nelle elevazioni sono: *do, do diesis, re, re diesis, mi, fa, fa diesis, sol, sol diesis, la, la diesis, si;* e negli abbassamenti sono: *do, re bemolle, re, mi bemolle, mi, fa, sol bemolle, sol, la bemolle, la, si bemolle, si.* La scala con la gamma così accresciuta si dice *scala cromatica.*

Negli strumenti a numero determinato di suoni, come il cembalo, una nota alzata e la sua consecutiva abbassata si hanno per eguali; per esempio il *do diesis* tiensi per eguale al *re* bemolle. Ne viene che tra questi strumenti ed altri a cui si accompagnino suonando, occorrono ancora delle diversioni, le quali se ponno essere evitate per magistero di cotesti altri che

siano a serie indefinita di suoni, per esempio dalla voce con leggera inflessione, dal violino con un piccolo mutamento nella lunghezza delle corde premute dalle dita, riescono sensibili quando gli altri istrumenti sono anch' essi a numero determinato di suoni. Allora a diminuire le discordanze, e a fare che quelle consonanze di cui l'orecchio è meglio geloso non perdano troppo di loro purezza, si modificano o, come suolsi dire, si *temperano* alcuni suoni. A voler serbare ben netta la consonanza delle ottave non torna poi netta quella delle quinte. Il meglio partito è di temperare le quinte, cosicchè i loro intervalli riescano tutti eguali. Questa disposizione si chiama *temperámento equabile* per contrapposto ad un altro temperamento che si dice *inequabile* in cui gl' intervalli delle quinte riescono disuguali.

374. *Qualità diverse dei suoni. Tempera.* Nei varii suoni l'orecchio distingue, oltre alla intensità (corpo del suono), ed oltre al posto che occupano nella scala (altezza o tuono), anche una terza qualità che se trattasi di suoni di strumenti si dice *tempera* (dai francesi *timbre*) e se trattasi di voci umane si dice *metallo*. È una qualità per cui un suono differisce da un altro ancor che siano dello stesso tuono e dello stesso corpo. Ognuno sente infatti la differenza di una stessa e medesima nota cavata, per esempio, dal violino, o dal flauto, o dall'arpa, o dalla tromba od emessa dall'uomo. Non si conosce bene da che dipenda la tempera; vi ha certo influenza e la materia di cui è fatto uno strumento e la forma di esso: una tromba d'ottone muta la tempera de' suoni se il metallo s' incrudisce col ricuocerla in un forno; una tromba diritta ha suoni diversi d'una ricurva. Probabilmente la causa immediata delle differenze di tempera de' suoni consiste nella differenza con che si succedono le velocità e le compressioni o rarefazioni negli strati d'aria compresi fra i due estremi dell' onda. Se così è, nella rappresentazione grafica dell' onda sonora la curva potrebbe dar a vedere insieme le tre qualità del suono: con la distanza de'suoi limiti (lunghezza dell'onda) dà a vedere l'altezza del suono, con la grandezza delle ordinate l' intensità, e con la legge di variazione di questa grandezza nelle diverse parti, cioè con la specie della linea, darebbe a vedere la tempera. V' ha qualche tempera di suoni, per esempio, i suoni della tromba che pare abbiano l'onda rappresentata non da una curva ma da una linea a zig-zag.

375. *Nodi e ventri di vibrazione.* Consideriamo un po' più

davvicino il fatto dei corpi vibranti. Un corpo che vibra, d'ordinario non fa solo delle vibrazioni con tutta la sua lunghezza, ma si distingue in più parti aliquote di essa, le quali fanno ciascuna delle vibrazioni sue proprie. Tali parti sono contigue le une alle altre, e i punti o le linee che ne segnano la distinzione vibrano sì poco da potersi dire quiete; questi punti chiamansi *nodi*, e queste linee *linee nodali*. Le porzioni medie di ciascuna parte vibrante, dove le vibrazioni hanno l'ampiezza maggiore, si dicono *ventri*.

Una corda che faccia vibrazioni trasversali ha necessariamente dei nodi alle due estremità fisse, ma può averne anche ne' luoghi intermedii. La corda (AD, fig. 143) del sonometro sia distinta in tre parti di uguale lunghezza (DB, BC, CA), e il ponticello sia collocato alla estremità della prima parte (in B). Se coll'archetto si fa vibrare la prima parte (DB), vibra insieme anche il resto (BA) della corda, ma esso dividesi in due parti eguali (BC, CA) che vibrano ciascuna per sè; il suo punto di mezzo (C) è un nodo, e i luoghi di mezzo di ciascuna parte sono ventri. Si può rendere evidente la cosa col mettere a cavalcioni della corda dei pezzetti di carta in quel punto e in questi luoghi; il pezzetto al nodo è scosso leggermente, i due ai ventri sono tosto ributtati lontano. Se il ponticello è collocato a un quarto della corda, il resto si divide in tre parti vibranti uguali, con due nodi e tre ventri; se è collocato a un quinto della corda, il resto si divide in quattro parti vibranti uguali con tre nodi e quattro ventri; e così di seguito.

Si può formare dei nodi in una corda anche senza ponticello; se la corda è lunga, basta fregarla coll'archetto presso le estremità; in generale, data una corda che vibri alla libera, basta applicarvi leggermente il dito a quel luogo nel quale vuolsi avere il primo nodo.

576. *Vibrazioni longitudinali*. Le vibrazioni che abbiamo considerate sin qui in una corda sono trasversali, cioè avvengono in direzione perpendicolare alla lunghezza della corda; possono darsi anche vibrazioni longitudinali cioè nel verso della lunghezza, e si eccitano sfregando la corda per lungo coll'archetto o con un pezzo di stoffa cospersa di polvere di colofonia. In questi modi si traggono direttamente più strati della corda a moversi nel verso dello sfregamento, e come il moto loro si trasmette mano mano agli altri strati, avviene che vi sia condensazione in alcune parti della corda e dilatazione in alcune altre. Quando poi le molecole rimangono libere tornano

per l' elasticità nei loro luoghi di equilibrio, per l'inerzia passano oltre, e così fanno, intorno a quei luoghi, delle oscillazioni isocrone, che, ove siano abbastanza rapide ed estese e si accordino insieme, producono dei suoni.

Le vibrazioni longitudinali seguono le medesime leggi che le trasversali, ma sono molto più rapide a succedersi, e però danno suoni più acuti (1).

Se una corda tesa è distratta lateralmente per modo che le singole particelle escano dai piani perpendicolari alla direzione di equilibrio della corda, si ha insieme uno spostamento trasversale ed uno longitudinale delle parti, e la corda lasciata libera, oscilla per ambedue i versi, cioe fa una serie di oscillazioni trasversali ed una serie di oscillazioni longitudinali, queste più rapide che quelle.

377. *Interferenza delle onde.* Due serie di onde, che vengano a passare per un medesimo luogo del mezzo in cui si propagano, tendono in generale ad eccitare due moti diversi nelle molecole di quel luogo; ciascheduna di tali molecole piglia allora un movimento che è il risultante dei due moti. L' azione vicendevole dell'una serie di onde sull'altra si dice *interferenza delle onde.*

Per comprendere qualche effetto di questo gioco delle interferenze si immagini una corda tesa (ABC, fig. 248) che per

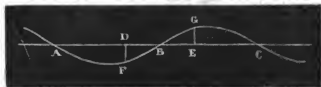



Fig. 248.

impulsi eguali e ripetuti regolarmente su di essa in un medesimo suo luogo sia, come a dire, percorsa da una serie di ondulazioni trasversali di pari lunghezza e seguentisi l' una l'al-

(1) Le leggi delle vibrazioni longitudinali sono comprese nella formola trovata da Poisson $N = n\sqrt{\frac{l}{a}}$, in cui N è il numero delle vibrazioni longitudinali fatte in un certo tempo, n il numero delle vibrazioni trasversali che la corda farebbe nello stesso tempo, l la lunghezza della corda, a l'allungamento ch'ella ricevette negli eccitamenti al moto. Siccome a è piccolissimo rispetto ad l, così N è molto più grande di n, cioè le vibrazioni longitudinali sono molto più rapide che le trasversali.

tra senza intervallo. Ciascuna delle ondulazioni (ABC) sarà costituita di due onde simili ma in giaciture contrarie (AB, BC). In un istante qualunque due particelle (D, E) della corda, che si trovino in queste due onde contrarie ad uguale distanza dal nodo comune (B), saranno in fasi di moto uguali ma opposte (FD, GE). La lunghezza (AB, BC) di ogni onda sia una parte aliquota della lunghezza della corda intera, cosicchè un certo numero di onde possa occupare tutta la corda. Suppongasi ora che un altro sistema di onde uguali alle suddette si propaghi nella stessa corda in direzione contraria. Per la interferenza dei due sistemi di onde si produrrà nella corda un movimento così composto che vi sarà una serie di nodi (A, B, C...) equidistanti e fissi ai loro luoghi, mentre tutte le parti intermedie di corda (AB, BC...) vibreranno trasversalmente. E invero è evidente che questa condizione sarà verificata in quell'istante che i due corsi contrarii di onde si troveranno sovrapposti nodo a nodo ed onda ad onda del medesimo genere; allora le fasi di moto in ogni luogo della corda si sommano. Ma anche in seguito i nodi rimarranno fissi ciascuno a suo luogo; perciocchè dopo quell'istante, se nella propagazione dei due sistemi una fase qualunque (FD) di un'onda di uno verrà, per così dire, a trasferirsi in un nodo (B), verrà a cadere simultaneamente nel medesimo nodo la fase uguale e contraria (GE) di un'onda dell'altro sistema che si propaga in direzione contraria, ed ivi le due fasi elidendosi non moveranno il punto, che resterà pur tuttavia un nodo.

Quando a partire da quell'istante della coincidenza perfetta i due corsi di onde saranno progrediti ciascuno per la sua via di una metà di onda (una metà di AB o di BC) si troveranno in differenza l'uno dall'altro di un'onda intera in ogni luogo della corda; i nodi dell'un sistema coincideranno ancora con quelli dell'altro, ma ogni onda dell'uno si troverà sovrapposta perfettamente ad un'onda contraria dell'altro. Allora le fasi del moto si elidono in tutta la lunghezza della corda e la corda è tutta in quiete.

Alla fine di un secondo tempo uguale a quello che condusse a tal segno, i movimenti si saranno scambiati all'innanzi e all'indietro di ogni nodo. Allora ciascuna parte vibrante della corda ha una inflessione contraria a quella che aveva dapprincipio (il movimento che prima era in AB è passato in BC, e viceversa). Dopo tornerà ciascuna verso la posizione rettilinea,

e così ciascuna andrà vibrando al di qua e al di là di questa posizione.

In siffatto moto accade sempre che due punti della corda similmente situati in due tratti vibranti contigui hanno movimenti contrarii; è questa la cagione che i nodi rimangono sempre fissi.

Ora ci è dato intendere come una corda sfregata possa dividersi per nodi in parti di uguale lunghezza che vibrino trasversalmente ciascheduna di per sè. Quando un'onda si è propagata fino a un punto fisso estremo della corda, ella viene riflessa da quel punto; la corda è dunque ricorsa anche da una serie di onde riflesse che hanno positura inversa e si propagano in direzione inversa della serie diretta. Se le onde si succedono continue e tutte d'una lunghezza uguale, che sia una parte aliquota della lunghezza della corda, le onde riflesse incontrandosi con le dirette fanno interferenza tra loro e ne viene quella maniera di moto che dissi.

Qui abbiamo preso ad esempio l'interferenza di onde trasversali che si propagano in versi opposti lungo una corda tesa; ma le considerazioni addotte valgono anche per ogni altra maniera di onde che si propaghino in mezzi qualichesiano.

378. *Differenza tra il moto di propagazione e il moto di produzione del suono.* Per le cose discorse possiamo stabilire la differenza tra la maniera di moto di un corpo quando trasmette il suono e quando lo produce.

Nel corpo che trasmette il suono è un propagarsi di un moto ondulatorio per le particelle contigue; le parti del corpo entrano in moto le une dopo le altre solo in causa della spinta che ricevono dalle parti vicine; e se il corpo è omogeneo, la reazione delle parti in cui si desta il movimento riduce ben tosto alla quiete le parti che lo destano. La quiete si ottiene così per le forze molecolari stesse del corpo.

Invece nel corpo sonoro le parti si movono tutte a un tempo, ed escono dalle posizioni di equilibrio da una banda e dalla banda contraria; questo moto è durevole dappertutto, persevera in virtù delle forze molecolari anche quando la causa che lo produsse ha cessato di agire, e se alla lunga si estingue gli è solo per opera di resistenze estranee al corpo.

Il moto di trasmissione del suono dovrebbe dirsi propriamente ondulatorio, quello di generazione del suono dovrebbe dirsi propriamente vibratorio. Il moto vibratorio si può destare direttamente in un corpo col rompere l'equilibrio di

tutte le parti di esso a un medesimo tempo, come nel pizzicare una corda; ma si può anche generarlo per un moto che sulle prime sia puramente ondulatorio, e ciò colla interferenza delle onde riflesse con le dirette, come si disse poco sopra.

579. *Vibrazioni dell'aria negli strumenti a fiato.* In generale negli strumenti a fiato, canne d'organo, flauti, trombe, il corpo sonoro è l'aria che contengono, la quale vi si mette in vibrazione col soffiarvi dentro. Il tuono è assegnato dalle dimensioni della colonna d'aria e dal modo in cui essa vibra. Se i tubi sono robusti la qualità della loro materia non influisce nel tuono, può solo influire nella tempera; ma se i tubi sono di lamina sottile accade che le vibrazioni ch' essi fanno insieme coll'aria contribuiscano talvolta anche all'altezza del tuono.

Daniele Bernouilli trovò le leggi delle vibrazioni dell' aria nei tubi sonori che hanno lunghezza molto grande in confronto delle dimensioni della sezione trasversale [1], come è nelle canne d'organo, nelle trombe, nei tubi che servono all'esperienza detta *armonica chimica.* La quale si fa col porre la bocca di un tubo verticale sopra una fiammella di gas idrogeno; il processo della combustione del gas produce una serie di piccole esplosioni che si succedono rapidamente, e danno altrettanti impulsi all'aria del tubo; di qui il suono.

Una colonna d'aria in un tubo può mandare più tuoni; ma l'ordine di questi è diverso quando il tubo è aperto ad ambedue i capi e quando è chiuso ad uno. Così conviene che sia, perciocchè la colonna d'aria del tubo non può vibrare se non per interferenza delle onde generate all'un capo con quelle che giunte all'altro capo ne furono riflesse e tornano indietro. Ora la posizione dei nodi e però la lunghezza delle parti vibranti nella colonna dipende dalla disposizione dei due corsi di onde che interferiscono, e questa disposizione è diversa quando il tubo è aperto anche nella estremità a cui vanno le onde dirette e quando è chiuso. Quando è aperto le molecole d'aria in quella estremità sono meno impedite di sfuggire che non le molecole contenute lungo il tubo; però quelle cedono meglio di queste all'impulso che loro vien dato, è quindi nasce bensì un'onda riflessa, ma rarefatta se l'onda diretta è condensata e reciprocamente. Invece quando il tubo è chiuso le molecole prossime al fondo sono più restie al moto che non le altre degli

(1) *Sur le son et sur les tons des tuyaux d'orgues Mem. de l'Acad. de Paris* 1762

strati interni, e però l'onda riflessa riesce del medesimo genere che la diretta da cui ha origine. Il calcolo, seguendo questi principii, dà ragione delle seguenti leggi offerte dalla esperienza.

Nei tubi chiusi:

1.° Nel tuono più grave di cui una colonna d'aria è capace l'onda ha una lunghezza doppia di quella del tubo; c'è un nodo al fondo del tubo ed un ventre alla imboccatura.

2.° Col rinforzare più e più il soffio al tubo i suoni diventano sempre più acuti. Rappresentato coll'unità il suono più grave suddetto, gli altri dati successivamente sono rappresentati dai numeri dispari 3, 5, 7, 9...

Al fondo del tubo v'è sempre un nodo ed alla imboccatura un ventre. Quando si cava il suono 3 v'è un nodo anche a un terzo del tubo partendo dalla imboccatura; allora dunque la distanza di due nodi, cioè la lunghezza dell'onda, è uguale a $^2/_3$ della lunghezza del tubo, però è $^1/_3$ di quella del suono 1, come debb'essere. Quando si cava il suono 5 vi sono due nodi a distanza dal fondo, e il meno distante è a $^1/_5$ della lunghezza del tubo....

3.° Per tubi di lunghezze diverse i suoni egualmente posti nelle serie diverse date da essi stanno tra loro in ragione reciproca delle lunghezze dei tubi.

Nei tubi aperti:

1.° Il suono più basso che dà un tubo aperto ai due capi è sempre l'ottava acuta di quello che il tubo darebbe se fosse chiuso in fondo. Quando il suono è il più basso v'ha un nodo a mezzo il tubo e un ventre alle due estremità; ciascuna metà del tubo contiene dunque una semionda, e l'onda ha la lunghezza del tubo intero.

2.° I suoni che si ottengono successivamente dallo stesso tubo col rinforzare il soffio sono rappresentati dalla serie dei numeri naturali 1, 2, 3, 4. I nodi che si formano successivamente nella colonna per i suoni acuti sono 2, 3, 4.

In generale le vibrazioni della colonna nei tubi aperti sono quelle che si avrebbero chiudendo il tubo nel suo mezzo; in altre parole un tubo aperto dà i medesimi suoni che uno chiuso, il quale sia lungo soltanto la metà di esso.

Nei tubi aperti o chiusi il sito dei nodi si può riconoscere in diverse maniere:

1.° Perforando la parete; nei luoghi dei nodi i fori non mutano il suono, lo mutano se rispondono ad altri luoghi della colonna.

2.° Facendo scorrere uno stantuffo nel tubo; quando la base dello stantuffo viene ad una superficie nodale il suono non patisce alterazione.

3.° In un tubo parallelepipedo orizzontale a pareti sottili, spargendo di sabbia la superficie alta; nel suono le pareti vibrano insieme all'aria interna e la sabbia ributtata dai luoghi dei ventri si vede raccogliersi in quelli dei nodi.

Se la bocca del tubo è chiusa non del tutto ma solo in parte, o se lungo il tubo vi sono altre aperture, o se la lunghezza non è molto grande in confronto alle dimensioni della sezione, le leggi esposte non valgono più.

Oltre le dimensioni della colonna e la maniera di vibrare, influisce sull'altezza del suono anche la qualità del fluido di cui è fatta la colonna. Nei diversi fluidi gl'impulsi propagansi con diversa velocità; ora al crescere della velocità, come per una durata fissa delle oscillazioni le onde riescono più lunghe, così per una lunghezza fissa delle onde le durate delle oscillazioni devono tornare più piccole, e però le oscillazioni fatte in un minuto devono ascendere a un numero maggiore. Dunque nei tubi un gas la cui forza espansiva sia più grande che quella dell'aria o di un altro gas a pari densità, deve dare, ad altre condizioni uguali, un tuono più alto. Per questa legge è chiaro che quando si facciano vibrare ad uno stesso modo due colonne di gas ugualmente configurate e si ascoltino i tuoni che mandano, si può desumere dal rapporto dei tuoni il rapporto delle velocità con che si propaga il suono in essi gas. Le velocità del suono registrate al § 262 furono rinvenute in questo modo. Ecco un bell'esempio delle attinenze che ci sono tra fenomeni che a noi appariscono pur tanto diversi! Il filosofo dev'essere accorto a valersi di tali attinenze per ben definire le condizioni di un fenomeno qualunque. Vedete Dulong che fa vibrare alla stessa guisa diversi gas in tubi eguali e ne ascolta i suoni: che vuol'egli? vuol trovare i calorici specifici dei gas e li trova. Dai tuoni argomenta alle velocità di propagazione del suono, da queste velocità ai calorici specifici (§ 362, § 100) (1).

(1) *Sur la chaleur specifique des fluides elastiques. Ann. de chim., et phys.* Iuin 1829.

DELLA CAUSA DEI FENOMENI OTTICI E DEI FENOMENI CALORIFICI.

380. *Sulla natura della luce.* I fenomeni ottici sono svariatissimi e non dipendono da un fenomeno unico supremo così semplice che si possa attribuirlo immediatamente ad una forza. Sono di tale specie che ci sentiamo indotti, per le nozioni che abbiamo della causa obbiettiva delle altre percezioni dei sensi, ad attribuirli ad un moto (§ 241). Il fenomeno che si rinnovella sempre della propagazione successiva della luce basta a persuaderci che la luce non è l'effetto di una forza che operi a distanza assiduamente come la gravitazione, ma che ella si attiene ad un movimento. Circa la maniera di questo movimento i fisici fin dai primordii della scienza non furono d'uno stesso avviso. Ammisero bensì tutti che esista la sostanza che col suo moto fa sull'organo della vista quell'impressione per cui si percepisce la forma di un corpo, ma a spiegare come l'azione si trasmetta dal corpo all'organo l'analogia, ricorrendo ai sensi dell'olfatto e dell'udito, suggerì due diverse ipotesi, dette l'una della *emanazione* o dell'*emissione*, l'altra delle *ondulazioni*.

La prima suppone che la luce sia una sostanza particolare, tenuissima, libera dalla gravitazione, non omogenea ma di più specie, la quale essendo projetta con grande forza dai corpi luminosi, corre lo spazio, investe i corpi oscuri e li illumina, attraversa i trasparenti e viene ripulsa dagli opachi. Una porzione di questa sostanza, partita dal corpo luminoso o illuminato, passa per le membrane e gli umori dell'occhio, tocca alla retina e cagiona la sensazione. Così il senso della vista viene affetto dalla luce nella stessa guisa che il senso dell'olfatto viene affetto dalle particelle emanate dalle sostanze odorose. Un raggio di luce è una retta percorsa da più molecole di luce che si succedono. La intensità della luce è fatta dalla copia delle molecole. La differenza de' colori corrisponde alla differenza delle specie di luce che entrano nell'occhio.

La seconda ipotesi ammette che in tutti gli spazii vuoti di materia pesante, così dentro il volume dei corpi come fuori, esista un fluido esilissimo, elasticissimo, a cui si dà nome di *etere*, il quale per sè stesso non sia luce, come l'aria per sè

stessa non è suono, e insieme ammette che le molecole dei corpi luminosi vibrino continuamente, e queste vibrazioni generino nell'etere, sia libero sia contenuto nei corpi, certi moti ondulatorii, che propagandosi fin dentro l'occhio cagionano le sensazioni di luce nella guisa che le ondulazioni dell'aria cagionano le sensazioni di suono. I corpi trasparenti permettono dentro il loro volume la propagazione delle ondulazioni eteree, gli opachi la impediscono. Un raggio di luce è una linea retta secondo la quale si propagano le ondulazioni luminose. L'intensità della luce dipende dall'ampiezza di queste ondulazioni, perciocchè dall'ampiezza loro dipende la gagliardia dell'impressione che esse fanno sulla parte sensitiva dell'occhio. I colori diversi provengono dalla durata di una ondulazione, ossia dal numero di ondulazioni che si succedono in un dato tempo.

La prima ipotesi fu illustrata da Newton ed ebbe nel secolo scorso gran seguito tra i fisici. In essa molti fenomeni si spiegano con facilità, ma parecchi non si possono spiegare che a stento e per forza di tante ipotesi ausiliari quanti sono i fenomeni, e sconoscendo pur tra gli affini qualunque legame; altri fenomeni poi durano inesplicati, ed alcuni si accampano contro l'ipotesi principale e contro le ausiliari accusandole di fallacia.

L'ipotesi delle ondulazioni, già adombrata da Cartesio e sostenuta da Huygens e da Eulero, toccò negli ultimi tempi, principalmente per opera di Young e di Fresnel, un grado altissimo di probabilità. Si può dire ch'ella oramai è salita nel campo del vero. Precorse alla osservazione rivelando fenomeni nuovi, e valse anche a togliere certi errori nati da prevenzioni e da inesatte misure nello sperimentare. Con poche proposizioni semplici e feconde spiega per via di conseguenze razionali tutti i fatti dell'ottica fin nelle minime varietà; interrogata con diversi esperimenti, ove le tocchi nelle risposte di proferire più volte una medesima concludenza, lo fa con matematica esattezza; ella conserva la semplicità sua nella spiegazione dei fenomeni più complicati, scopre l'irrepugnabile freno della legge là dove pareva l'indisciplina, e dà ad ammirare composte in uno per naturali giunture tutte le classi dei fenomeni, quasi giuste membra di bellissimo corpo nelle quali ferve indiviso lo spirito della vita. Questi pregi li vedremo nella parte seguente, ma intanto ci giovi qualche cenno di confronto delle due ipotesi.

Nella prima ipotesi la velocità della luce è la velocità con cui le molecole luminose passano esse medesime da luogo a

luogo, cosa troppo inverosimile, perchè le più grandi velocità conosciute di traslazione sono incomparabilmente minori di questa. Quale mai può essere la forza portentosa che spinge al corso le molecole? Nella seconda ipotesi la velocità della luce non si attribuisce a traslazione di sostanza per lo spazio, ma a propagazione di moto in un fluido continuo immanente, e però dipende dalla elasticità del fluido, ossia da una correlazione delle molecole contigue che non può sembrare improbabile a chi abbia intravedute le maraviglie dei fenomeni molecolari.

È un fatto che i raggi di luce nello spazio s'incontrano, s'incrociano in tutte le direzioni, e ciò non ostante seguono ciascuno il suo corso. Nella prima ipotesi, che i raggi sono tante serie di corpuscoli, come avviene che gli innumerevoli urti non ne turbino il cammino? come si accorda il fatto con la legge della composizione dei movimenti? Nella seconda ipotesi il fatto è conforme alle dottrine meccaniche per un principio annunciato da Daniele Bernouilli, detto *della coesistenza delle piccole oscillazioni*, il quale consiste in ciò che un corpo può ammettere nello stesso tempo una infinità di vibrazioni, tutte semplici ed isocrone regolari, senza che queste vibrazioni si confondano o si turbino.

Nella prima ipotesi è troppo strano che la luce sia versata a torrenti, non pure dal sole e dalle altre stelle, ma anche da un microscopico animaluzzo fosforescente, e che questi corpi non ci perdano punto; è troppo strano che i corpi opachi assorbiscano luce da secoli e non ne mandino fuori mai. Nella seconda ipotesi le stranezze non ci sono; i corpi luminosi non emettono sostanza, i corpi opachi non ne ricevono.

Nella prima ipotesi a spiegare le tinte dell'iride, ed i fenomeni di colorazione vuolsi ammettere che vi abbiano innumerevoli sostanze luminose diversamente colorate. Invece nella seconda ipotesi le diverse lunghezze delle onde luminose, cioè i movimenti vibratorii del medesimo etere più o meno rapidi, cagionano le sensazioni dei diversi colori, cosicchè questi sono all'occhio quel che i suoni per le diverse velocità di vibrazione dell'aria sono all'orecchio. La differente lunghezza delle onde luminose induce una diversa rifrangibilità dei raggi, per cui la luce del sole, attraversato il prisma, riesce distinta nei colori dell'iride.

Newton ammetteva pur egli che vi fosse un etere in tutto lo spazio, il quale avesse grande influenza nei fenomeni della

luce; e probabilmente non avrebbe introdotto, contro la sua prima regola di filosofare (§ 248), come altra causa di tali fenomeni la projezione velocissima di corpuscoli eterogenei, se non avesse riputato incompossibile con le ondulazioni il propagarsi della luce in linea retta. Ma vedremo che un principio meccanico annunziato da Young e insieme la brevità delle onde luminose danno piena ragione dell'andamento rettilineo dei raggi di luce.

581. *Sulla esistenza dell'etere*. Il complesso dei fenomeni della luce noti al giorno d'oggi attesta che esiste un etere non altrimenti che la resistenza al tatto attesta che esiste l'altra materia. Ma una serie di fenomeni che affetti un unico senso non basta a farci persuasi della realtà obbiettiva della sua causa, seppure non le venga compagna l'analogia con altri fenomeni, la causa obbiettiva dei quali siasi già riconosciuta reale per fenomeni offerti a più sensi. Noi ammettiamo che la materia impenetrabile pesante sia reale, perchè la ci è sensibile anche per fenomeni indipendenti dal senso del tatto, e perchè possiamo farla soggetto immediato delle nostre sperienze; così per esempio, la ci riesce nella più parte dei casi visibile, sempre poi trattabile a tale da poterla rimovere quasi affatto da uno spazio, e fare, come si dice, il vuoto attraverso del quale il suono non trova più il suo veicolo. Noi ammettiamo che gli astri esistono realmente sebbene siano sensibili a noi soltanto per veduta, perciocchè la gravitazione rende testimonianza di analogia che sono materiali come la nostra terra. Ma l'etere non ci è nemmeno visibile per sè stesso, e non doveva esserlo dacchè veniva ordinato che il suo moto fosse l'unico mezzo di cagionare le percezioni della vista; ma l'etere non è tangibile, e non si presta immediatamente alle nostre prove; ma l'etere non si lascia rimovere da uno spazio, forse perchè fu voluto che a nessun angolo dell'universo possa mancare il benefizio della luce fisica.

Ad ammettere la realtà dell'etere bisognerebbe che ci venisse dato di riconoscere l'etere anche per fenomeni diversi dai luminosi; ed ecco le diminuzioni del tempo periodico della cometa di Encke accusare una resistenza al moto, appunto quale sarebbe prodotta da un fluido diffuso nello spazio. Gli Astronomi si accordano già nello spiegare codeste variazioni mediante la resistenza dell'etere (1).

(1) Vedi la nota a pag. 231 di questo volume.

Inoltre acquista fede alla realtà dell'etere l'analogia tra i moti che vengono attribuiti ad esso nello spiegare i fenomeni luminosi e i moti reali dell'aria nei fenomeni acustici (1).

I fisici sono già condotti, come ora dirò, ad attribuire all'etere i fenomeni del calorico. Molti sono anche portati a pensare che due altre classi numerose di fatti svariatissimi (i fatti elettrici e i fatti chimici) nascano dalle azioni tra le sostanze pesanti e l'etere, modificate variamente dalle condizioni relative dell'etere e delle particelle dei corpi. Pare non lontano il tempo che le spiegazioni di un gran numero di fenomeni cospirino a fare indubitata la realtà dell'etere.

382. *Sulla natura del calorico.* I fenomeni del calorico raggiante ci persuadono che la natura del calorico è simile a quella della luce. Perciò anche rispetto al calorico si mettono in campo le due ipotesi della emanazione e delle ondulazioni.

Nella prima il calorico è una sostanza tenuissima, senza peso, che si trova congiunta nell'interno dei corpi con le sostanze pesanti di essi o trattenuta fra le loro molecole, ma che alla esterna superficie ne può essere lanciata via, onde corre lo spazio con una velocità pari a quella della luce. Quando i raggi di calorico si abbattono a un corpo, alcuni vengono riflessi, gli altri passano dentro il corpo, e se questo è adiatermico, vi perdono la loro qualità di raggi, si uniscono con le sostanze ponderabili o vi albergano fra le molecole, producendo fenomeni particolari (riscaldamento, dilatazione, cangiamenti di stato), e se il corpo è diatermico, in parte lo attraversano, serbando le qualità di raggi, e in parte vi si trattengono. Ciò che diciamo quantità di colorico è una massa di codesta sostanza imponderabile.

Nella seconda ipotesi le molecole dei corpi caldi fanno di continuo vibrazioni tutte rapide e piccole, comechè l'ampiezza loro possa variare moltissimo dentro il breve confine. Queste

(1) » Il Comte rifiuta e l'ipotesi delle emanazioni e quella delle vibrazioni; egli dice espressamente che quest'ultima abusivamente trasportata dall'acustica allo studio dei fenomeni luminosi non può condurvi che a concezioni chimeriche; e tutto questo perchè l'etere luminoso è un ente immaginario, la cui esistenza non è provata direttamente. Immaginiamo che sieno ancora ignoti alcuni pochi dei caratteri che dimostrano l'esistenza dell'aria: in tal caso, secondo il Comte, immaginare l'esistenza dell'aria sarebbe lo stesso come sottoporre la fisica alla metafisica, incagliare ogni progresso di quella coll'introduzione dell'idea di un ente immaginario; ma che diverrebbero la teoria della trasmissione dei suoni e l'acustica senza l'ipotesi dell'esistenza dell'aria? » (Bellavitis. *Sulle unità delle varie quantità fisiche,* ecc. *Atti dell' I. R. Istituto Veneto,* T. 1, Serie III, pag. 330).

vibrazioni generano ondulazioni particolari nell'etere, che si propagano in esso e fanno vibrare le molecole degli altri corpi in cui si avvengono. I diversi fenomeni del calorico sono diversi effetti di tali vibrazioni. La quantità di calorico sensibile risulta dalla forza viva dei movimenti vibratorii.

Parecchi fenomeni sembrano meglio favorevoli alla seconda ipotesi che alla prima. La percossa produce calore: giusta le vedute della prima ipotesi si potrebbe dire che un corpo si riscalda alla percossa perchè ravvicinandosi le molecole, diventa libera e sensibile una parte del calorico che era latente; e si potrebbe addurre a prova l'osservazione di Berthollet che quando per iterati colpi un corpo si è già condensato assai, i nuovi colpi che riceve non producono più molto calore, perchè non possono condensare più molto la materia. Ma il condensamento non è la sola cagione del fenomeno, poichè il piombo quando viene battuto non si condensa, eppure si riscalda. Pare più probabile che la percossa generi calore eccitando nelle molecole dei corpi solidi un moto vibratorio.

Anche lo svolgersi del calorico per lo sfregamento pare che si debba attribuire al moto vibratorio che si desta nelle molecole. Rumford fece girare un gran corpo di bronzo a contatto di un altro corpo fisso pure di bronzo; circondò la parte riscaldata dall'attrito con acqua, per misurare, mediante il riscaldamento di questa, il calore prodotto: un decimetro quadrato di superficie sfregante, a 32 giri per minuto, diede 250 grammi di limatura in 2 ore, e il calore prodotto fu tanto che sarebbe bastato a riscaldare di 100 gradi 50 litri d'acqua, cioè a riscaldare di 50000 gradi quella limatura di bronzo. Non si può ripetere la produzione successiva di tanto calorico dalla compressione del metallo, chè la compressione, come si fece una volta al principio della esperienza, così rimase poi sempre la stessa; non si può ripeterla da una capacità specifica minore della limatura in confronto del metallo sodo, chè le prove fatte non vi trovano differenza alcuna di capacità.

Davy sfregò l'un contro l'altro due pezzi di ghiaccio quando l'aria era fredda sotto 0,° e così li ebbe ridotti in liquido. Donde mai il molto calorico necessario alla fusione? Non dai corpi circostanti, perchè in questa esperienza, come nella suddetta di Rumford, i due corpi sfregati avevano temperatura più alta dell'ambiente e dovevano perdere calorico per irradiazione, anzi che acquistarne. Il moto vibratorio eccitato nelle

molecole è la causa più probabile del fenomeno e nell'una e nell'altra esperienza [1].

E la grande quantità di calorico che nasce nelle chimiche combinazioni non pare naturalissimo ripeterla da moti vibratorii impressi alle molecole da quelle forze istesse che producono le combinazioni?

L'analogia tra il calorico raggiante e la luce, il quale e la quale osservano le medesime leggi e nella propagazione libera e negli accidenti che essi toccano in la materia pesante, conferisce alla ipotesi delle ondulazioni anche nel campo del calorico quel grande valore di probabilità che ella prese nel campo della luce.

Una ipotesi che torna conforme alle idee comunemente ricevute dei fenomeni termici si è che il solo calorico raggiante consista in ondulazioni eteree; che siano diverse per una qualche proprietà dalle ondulazioni che fanno la luce; e che il calorico da cui dipendono le temperature dei corpi e tutte le vicissitudini di esse (calorico specifico, calorico latente) altro non sia in sostanza che la massa di etere contenuta nei corpi. Così l'esposizione di questi ultimi fenomeni, quale suolsi fare, diventa anche la spiegazione, sol che al nome *calorico* si sostituisca il nome *etere*. Le idee comunemente adottate sui fenomeni termici stanno ancora; solo quella dell'equilibrio mobile delle temperature (§ 224) cade, giacchè, divenute uguali nei corpi le temperature, la stabilità dell'eguaglianza dipende da un equilibrio assoluto dell'etere sotto l'azione che i corpi esercitano sulle molecole di questo fluido.

(1) Non voglionsi dissimulare le vedute che possono dar conto di questi fatti, ammettendo che il calorico sia una sostanza particolare. In quanto al primo fatto: « forse i cangiamenti nella duttilità od in altre proprietà fisiche dei corpi percossi, quantunque piccolissimi, possono render ragione dello sviluppo del calorico ». In quanto al secondo: « si può supporre che l'attrito staccando le molecole del ghiaccio produca con un'azione meccanica la sua liquefazione, e che l'acqua così prodotta tolga e renda latente porzione del calorico libero del ghiaccio, il quale acquisti così temperatura inferiore a quella dell'ambiente, e riceva per conseguenza da questo il calorico che sembrava generato » (Bellavitis. *Memoria citata sulle unità, ecc.*, pag. 251).

DEI FENOMENI ELETTRICI.

Alcuni fenomeni sono di tale specie che non ci è dato descriverli nell'insieme senza fare intorno alla natura della causa loro una qualche ipotesi da cui derivare il linguaggio. Chi stima di potere altrimenti forse non si accorge che l'ipotesi è celata sotto le locuzioni che adopera. Tali sono i fenomeni che prendiamo ad esporre.

383. *Primi fenomeni elettrici.* L'ambra, la cera lacca, il vetro, le pietre preziose acquistano, per lo strofinamento colla mano, colla lana, o con altro, la proprietà di attirare i corpi leggeri vicini, di respingerli talvolta appena giungono al contatto, di dare una scintilla visibile nella oscurità, e accompagnata da piccolo romore come di scoppio quando i corpi attirati sono lì per toccarli, e di spargere anche un odore, quale di fosforo. Questa proprietà cessa dopo qualche tempo più o men lungo, secondo che l'aria è più o meno asciutta, ma si può ridestare con un nuovo strofinamento. Siffatti fenomeni e gli altri congeneri furono appellati *elettrici* (da ἤλεκτρον, nome dell'ambra gialla) perchè codesta attrazione dei corpi leggeri fu avvertita la prima volta nell'ambra gialla. Si è supposto che vi abbia un agente particolare che li produca, il quale fu denominato *elettricità*. *Elettrizzare un corpo* significa renderlo atto a presentare fenomeni elettrici.

L'attrazione che l'ambra gialla strofinata esercita sui corpi vicini era nota agli Antichi, ma il fenomeno fu negletto per lunga serie di secoli. Solo verso la fine del secolo XVI Gilbert verificò che parecchi altri corpi hanno la virtù dell'ambra; poi si scoprirono più altri fatti congiunti o successivi a quello dell'attrazione; infine l'elettricità, che si reputava una bizzarra prerogativa di alcune sostanze, si diede a conoscere per un agente generale e dei più poderosi della natura. Chi mai avrebbe detto agli Antichi: voi nel fenomeno dell'ambra stringéte l'anello di una catena che mette le sue minute ramificazioni per entro le più sottili compagini dei corpi e cinge delle sue ampie volute il mondo!

384. ***Classificazione dei corpi in riguardo alla loro attitudine di propagare l'elettricità.*** Quei corpi che tenuti in mano

e strofinati non danno fenomeni elettrici, quali sono i metalli, si giudicò sulle prime che non fossero elettrizzabili, e si dissero *anelettrici*, mentre gli altri furono per contrapposto appellati *idioelettrici*. Ma venne chiarito che tale distinzione era insussistente, e che i corpi detti anelettrici riescono elettrizzati ogniqualvolta vi abbiano circostanze atte a mantenere in essi la elettrica virtù che lo strofinio va destandovi. Si conobbe che i corpi di questa classe acquistano dagli elettrizzati e comunicano agli altri della medesima classe che si trovino a contatto con loro la virtù elettrica, la quale così scompartita, riesce tanto meno sensibile in ciascheduno quanto maggiore è l'estensione a cui si diffonde. Il nostro corpo, il globo terracqueo sono anch'essi di questa classe, ond'è che i metalli tenuti in mano e strofinati lasciano che la virtù elettrica, a misura che si svolge, passi alla mano e pel nostro corpo al globo e di tanto si estenda che diventi insensibile. I corpi atti a propagare di questa maniera il potere elettrico si dicono *deferenti* o *conduttori* della elettricità, e gli altri si dicono *coibenti* o *non conduttori* della elettricità. Un metallo, non tenuto immediatamente in mano, ma tenuto per un manico di materia coibente, p. e. di vetro, riceve elettricità quando si sfreghi il manico nella parte vicina ad esso; e, se non toccasi nè con la mano nè col corpo sfregante, si conserva elettrizzato per qualche tempo, giacchè il manico impedisce la diffusione del potere elettrico, isolando per così dire il metallo. I corpi coibenti acquistano per questo loro ufficio l'epiteto di *isolanti*.

I conduttori prestano libero il campo all'elettrico il quale vi si diffonde subito per tutta la superficie anche se viene comunicato loro solo in una parte; e lasciano poi che l'elettrico se ne vada tutto quanto anche se la via è data in una sola parte della loro superficie. I coibenti invece ricevono l'elettrico dagli altri corpi difficilmente e soltanto nel luogo che sono toccati, ma ricevutolo il ritengono ivi e fanno qualche resistenza al suo partire.

La distinzione dei corpi in idioelettrici ed anelettrici si è dunque convertita nell'altra di corpi coibenti e corpi conduttori. Ma non si creda che per questo riguardo si possa fare dei corpi una distinzione spiccata, chè anzi tutti i corpi formano una scala di insensibili gradazioni dai più coibenti ai meglio conduttori. Sono *coibenti perfetti* il vetro comune, il diamante, l'ambra gialla, la cera lacca, la lacca pura, la seta, lo zolfo, le resine, i peli animali, l'aria secchissima; *semicoibenti* l'aria

nè molto secca nè molto umida, gli olii, l'etere, i legni divenuti secchi da sè, le stoffe di lino e di canape e la carta bene asciutta, molte sostanze animali o vegetali asciutte, per esempio, le ossa, il cuojo, ecc. i mattoni asciutti, molte pietre; *conduttori imperfetti* l'aria umida, le superficie dei coibenti state esposte all'aria umida, le stoffe di lino e di canape poco asciutte, la carta, la terra ordinaria de'campi e in generale i corpi umidi; *buoni conduttori* l'acqua liquida, e tanto più se tenga sciolto qualche acido o alcali o sale, le sostanze vegetali verdi. e meglio le parti animali viventi o almeno ancor fresche: in fine *conduttori ottimi* i metalli, fra i quali tuttavia vi sono differenze; il platino per esempio, è meno conduttore del rame.

La conducibilità e la coibenza dei corpi pare che dipendano principalmente dalla natura chimica; così le sostanze metalliche sono ottime conduttrici, e il maggior numero delle sostanze idrogenate sono coibenti. Ma vi ha parte anche lo stato fisico; l'acqua è conduttrice e il ghiaccio è coibente; il sego la cera conducono l'elettricità solo quando son fusi, e molti sali fanno lo stesso; il vetro è buon conduttore quando è rovente. Lo zolfo e la gomma lacca rimettono alquanto di loro coibenza se vengono scaldati anche sì poco da non mutare punto di coesione. Il diamante è coibente perfetto, ma il carbone minerale è conduttore più o men buono secondo che fu ricotto più o meno. L'aria e i gas sono tanto meno coibenti quanto più sono rarefatti.

Una circostanza che contribuisce alla conducibilità è la condizione igrometrica dei corpi. Il vetro d'ordinario è igrometrico, però a fare che funzioni bene da isolante suolsi coprirlo di uno strato sottile di gomma lacca sciolta nello spirito di vino. Il vetro in fili è conduttore forse perchè porge una grande superficie all'aria umida.

585. *Distinzione di due specie di stato elettrico.* Si abbiano due pendolini formati ciascuno di una pallina conduttrice, leggera, sospesa a un filo isolante, per esempio di una pallina di midollo di sambuco sospesa a un filo di seta. Si accosti ad una delle palline un cilindro di vetro strofinato con un pannolano (fig. 249). essa viene attratta dal cilindro fino al contatto, e siccome è conduttrice riceve da lui un poco di elettricità, e allora viene tosto respinta. All'altra pallina si accosti una bacchetta di cera lacca strofinata con un pannolano: anche questa pallina è attratta dalla bacchetta fino al contatto e poi respinta.

Se a questi pendolini così elettrizzati si avvicinano ad uno

ad uno diversi corpi elettrizzati, si vedono alcuni di essi respingere la prima pallina ed attirare la seconda; così fanno, per esempio, il diamante e la pelle di gatto strofinati con la lana, così fa il vetro stesso che ha servito ad elettrizzare la prima pallina, così fanno tutti i conduttori isolati che abbiano avuto elettricità da questo medesimo vetro; e si vedono gli altri corpi invece, respingere la seconda pallina ed attirare la prima, così fanno, per esempio, lo zolfo, l'ambra gialla, la cera lacca che ha servito ad elettrizzare la seconda pallina, e così fanno tutti i conduttori elettrizzati da questa cera lacca.

Fig. 249.

Da tali fenomeni appare:

1.° che lo stato elettrico dei corpi non è di un unica specie, ma può essere di due specie diverse, cioè o simile a quello del vetro strofinato colla lana, o simile a quello della cera lacca strofinata pure colla lana;

2.° che i corpi similmente elettrizzati si respingono e i corpi diversamente elettrizzati si attraggono.

La distinzione delle due specie di stato elettrico fu scoperta nel 1733 da Dufay, il quale appellò *vitrea* l'elettricità quando produce la prima specie, *resinosa* quando produce la seconda. Questa differenza di stati elettrici non vale a stabilire che vi abbiano due diversi agenti elettrici, quindi le denominazioni di elettricità vitrea e resinosa devono intendersi riferite propriamente agli stati dei corpi e non al principio dei fenomeni.

La specie di stato elettrico di un corpo si riconosce col mezzo delle suddette attrazioni e ripulsioni.

Ogni volta che due corpi si elettrizzano per mutuo strofinamento si trova che l'uno ha l'elettricità vitrea e l'altro la resinosa, e che le due elettricità sono di pari forza. Queste due elettricità, o questi due stati elettrici sono in tale opposizione tra loro che, quando si facciano convenire ambedue in un medesimo corpo, si elidono, e il corpo si ritrova allo stato naturale.

386. *Ipotesi principali intorno alla natura della elettricità.* Le ipotesi che fin qui fecero prova migliore nella esposizione dei fenomeni elettrici sono due: quella di Franklin e quella di Symmer.

Nella prima si ammette che esista in tutti i corpi una particolare sostanza fluida, imponderabile, mobilissima negli ottimi conduttori, alla quale si dà il nome di *fluido elettrico*, o semplicemente di *elettrico*, e che quando un corpo contiene di questa sostanza una certa dose determinata (detta *dose naturale*), esso non presenta nessuno dei fenomeni elettrici, ma quando ne contiene una dose maggiore o minore della naturale esso presenta i fenomeni o dell'una o dell'altra specie di elettricità, e propriamente della vitrea quando ne contiene una dose maggiore, della resinosa quando una minore. Perciò nel primo caso il corpo si dice anche elettrizzato *per eccesso*, o *in più*, o *positivamente*, e nel secondo *per difetto*, o *in meno*, o *negativamente;* e l'elettricità vitrea si dice anche *positiva*, la resinosa *negativa*. Così nell'ipotesi di Franklin il vetro mentre viene strofinato colla lana riceve da questa e ritiene una parte del fluido naturale di lei; e la cera lacca invece mentre viene strofinata colla lana cede a questa una parte del proprio fluido; e quindi il vetro risulta elettrizzato in più, la cera lacca in meno; e il pezzo di lana resta allo stato naturale perchè è un corpo conduttore in comunicazione col suolo, al quale trasmette o dal quale riceve l'elettrico eccessivo o l'elettrico di cui manca.

Fra le proprietà che si è trovato necessario di attribuire al fluido elettrico e alla materia pesante per dare buona ragione dei fenomeni le principali sono:

1.° una tendenza delle parti del fluido elettrico al vicendevole allontanamento;

2.° una tendenza di esse ad avvicinarsi alla materia pesante spoglia di elettrico;

3.° una tendenza della materia pesante spoglia di elettrico ad avvicinarsi all'elettrico;

4.° una tendenza all'allontanamento vicendevole fra le parti della materia pesante spoglia di elettrico.

La seconda e la terza tendenza, essendo reciproche, si può considerarle come effetti di una sola potenza meccanica; se l'elettrico tende verso la materia, questa deve tendere con pari forza verso l'elettrico.

Nell' ipotesi di Symmer si ammette che vi siano in tutti

corpi due particolari fluidi, aventi in comune le proprietà di essere mobilissimi e imponderabili, e le parti di ciascuno dei quali attraggono quelle dell'altro ma si respingono tra sè, e che un corpo sia allo stato naturale quando contiene questi due fluidi combinati insieme in una certa proporzione, ed abbia invece l'elettricità vitrea o la resinosa quando vi è eccessivo o l'un fluido che si appella *vitreo* o l'altro che si appella *resinoso*.

Forse i fenomeni elettrici non dipendono da fluidi particolari, ma dipendono immediatamente da forze proprie della materia pesante che in certe condizioni passano dalla potenza all'atto.

Noi adotteremo l'ipotesi di Franklin ma solo come un aiuto nella esposizione dei fenomeni.

387. *Delle elettricità destate con lo sfregamento.* Lo sfregamento è un mezzo validissimo di elettrizzare. È noto che a Nuova-York in certe case fatte di materiali ben secchi lo sfregamento delle suola delle scarpe nel passeggiare sui tappeti stesi nelle camere bastò a fare che i passeggianti si trovassero elettrizzati a tale da mettere scintille, talvolta moleste, quando avvicinavano la mano o il viso a un corpo conduttore.

Non si conosce per che modo lo sfregamento dei corpi solidi fra loro o coi fluidi svolga l'elettricità. Il complesso dei fenomeni che verremo esponendo mostrerà che ogni azione meccanica la quale turbi l'equilibrio molecolare dei corpi col distoglierne le particelle dalla giacitura loro naturale, promove uno svolgimento di elettrico che diventa più o meno sensibile, giusta le differenze di conducibilità e di struttura dei corpi stessi.

La grossezza dei corpi che si strofinano per nulla giova lo svolgimento dell'elettrico, e la pressione di essi l'un contro l'altro lo giova fino a un certo segno, cioè in quanto ella procaccia un migliore contatto fra le parti che si strofinano; donde si vede che il fenomeno dipende unicamente dalle molecole più superficiali. La velocità dello sfregamento per sè sola non contribuisce alla copia dell'elettrico. L'elevazione della temperatura facilita in generale lo svolgersi dell'elettrico nello sfregamento.

Alcune circostanze influiscono a far prendere a questo o a quello dei due corpi solidi strofinati piuttosto l'una specie di elettricità che l'altra, e sono: la natura chimica, la temperatura, il modo dello strofinamento, la scabrezza, il colore, la struttura.

Natura chimica. La specie di elettricità che un corpo strofinato acquista non dipende solo dalla natura di esso, ma anche dalla natura dell' altro col quale si strofina. È degno di nota che se nello strofinamento un corpo cede elettrico ad un altro, e questo ad un terzo, il primo corpo cede pure elettrico al terzo, e più facilmente che al secondo, cosicchè i corpi si possono disporre in una serie tale che ciascuno di essi si elettrizzi in meno se venga strofinato con quelli che lo seguono, e in più se con quelli che lo precedono, e tanto meglio quanto più sono distanti nella serie i due corpi che si strofinano. Ecco un estratto della serie:

Cotone fulminante	Zolfo	Piume
Collodion	Vetro non liscio	Stoffe di lana
Carta preparata col metodo di Pelouze [1]	Gomma lacca	Vetro liscio
	Seta	Pelle di lepre
Gutta-percha	Carta comune	Diamante
Gomma elastica	Legno	Pelle di gatto,

Nella serie i metalli sono ai primi posti, cioè tendono ad elettrizzarsi in meno, le sostanze dure e di aspetto vitreo sono agli ultimi cioè tendono ad elettrizzarsi in più. È poi soltanto lo strato più superficiale dei corpi che determina la specie di elettricità ch'essi prendono per lo strofinamento.

Temperatura. Di due corpi della medesima natura strofinati insieme suole elettrizzarsi in meno il più caldo. Alcuni metalli (zinco, ferro, antimonio) fanno eccezione a questa regola. L'influenza della temperatura può molte volte anche fra corpi di natura diversa.

Modo di strofinamento. Se si strofinano insieme due corpi di natura uguale o poco diversa, cede elettrico quello di essi le parti del quale soffrono uno strofinamento maggiore. Così, facendo scorrere un nastro per tutta la sua lunghezza sopra una stessa parte di un altro nastro eguale, si elettrizzano quello in più, questo in meno.

Scabrezza. I corpi scabri hanno tendenza a cedere elettrico ai lisci.

(1) Si immerge la carta fina, senza colla, in una miscela d'acido solforico e d'acido nitrico fumante; poi la si lava largamente nell'acqua; la carta diventa giallastra e translucida come carta pecora. Più fogli di questa carta sovrapposti l'uno all'altro si elettrizzano tutti sol che si sfreghi con la mano il foglio superiore; levato questo, gli altri stanno aderenti fra loro, e quando si distaccano mandano vive scintille. Schoenbein propone di fare macchine elettriche con la carta così preparata.

Colore. Il color nero dà alle stoffe di seta e di lana la tendenza ad elettrizzarsi in meno, e il color bianco ad elettrizzarsi in più.

Struttura. I corpi fibrosi e quelli che sono morbidi al tatto, per esempio il deutosulfuro di stagno, il talco, la piombaggine, si elettrizzano forte in meno (1).

Queste differenze di colore e di struttura non sono differenze pure, ma sono evidentemente implicate con le differenze chimiche.

Becquerel, accogliendo una idea di Coulomb, pensa che in generale si elettrizzi in meno quello de' due corpi strofinati nel quale le molecole superficiali vengono a moversi con più ampie oscillazioni intorno ai loro punti di equilibrio.

Le polveri dei diversi corpi soffregandosi insieme si elettrizzano; la polvere di cera lacca con la polvere di zolfo si elettrizzano quella in più e questa in meno.

Lo sfregarsi dei solidi coi liquidi può dare molto elettrico. Si ponga del mercurio in un calice di vetro e vi si immergano dei corpi tenendoli un capo fra le dita. Fin tanto che i corpi stanno immersi non c'è segno elettrico, ma i segni appariscono quando si comincia a cavare i corpi, e crescono mano mano che si cavano, e sono massimi in quell'istante che i corpi cessano di toccare il mercurio. Se il corpo immerso è di origine organica, carta, lana, tela, seta, taffettà, penne da scrivere, feltro,..... il mercurio rimane elettrizzato in più; e per gli ultimi due corpi rimane tanto elettrizzato che può dare scintille. Se il corpo immerso è un minerale, cristallo di rocca, zolfo, vetro .... il mercurio si elettrizza quasi sempre in meno. Coll' ambra e la cera spagna si elettrizza forte in più (2). La luce che nasce nel vuoto di Torricelli, quando coll'inclinare il barometro vi si fa movere il mercurio, è luce di elettricità per lo sfregamento del liquido col vetro.

L'attrito delle particelle d' acqua coi solidi svolge grande copia di elettrico.

Lo sfregamento dei fluidi aeriformi coi solidi non produce squilibrio sensibile di elettricità.

388. *Macchina elettrica.* Per avere con lo sfregamento una fonte larga e continua di elettricità si adopera la *macchina*

(1) *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sciences. N.*° 2,1856 pag. 46.

(2) *Dell' elettricità che si promove nel mercurio mediante l'immersione e la successiva estrazione di diversi corpi.* Memoria del Prof. Antonio Peregо. Annali di Fisica, Chim. e Matem. diretti dal Prof. Majocchi. Aprile 1842.

elettrica. Giova conoscerla un poco fin da quest'ora. È formata di un disco di vetro (G, fig. 250) che mosso in giro per un

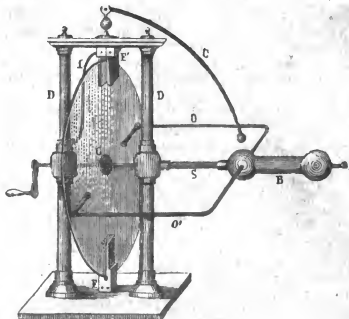



Fig. 250.

manubrio viene strofinandosi ad alcuni cuscinetti (F, F') comunicanti col suolo, dai quali riceve continuamente fluido elettrico che poi cede ad un conduttore metallico (BOO') isolato (essendo il cilindro S di vetro) e munito nelle parti rivolte al disco di più punte atte, come vedremo, ad assorbire l'elettrico. Se invece questo conduttore (BOO'), che dicesi *conduttore positivo*, si fa comunicare col suolo, e in pari tempo i cuscinetti superiori (F') si isolano col levar via il filo conduttore (I) per cui comunicano col suolo, e si tengono in comunicazione con un altro conduttore (C) pure isolato, allora i cuscinetti (F'), non potendo riprendere dal suolo l'elettrico che cedono al disco girante (G) tolgono elettrico al conduttore unito (C) il quale perciò rimane elettrizzato in meno. Questo conduttore (C) si appella *negativo*.

Perchè questo o quel conduttore si elettrizzi bene, è d'uopo che l'altro conduttore comunichi intanto col suolo; così la separazione dell'elettrico si fa presto e di continuo.

Il primo che immaginò una macchina elettrica fu Ottone De Gueriche; la sua macchina era un globo di zolfo che nel girare veniva sfregandosi alla mano; Hauxsbée sostituì al globo di zolfo un globo di vetro, e Gordon al globo un cilindro; Winkler applicò invece della mano il cuscino strofinatore; Planta fece le macchine a disco. Le fogge ponno essere diverse; la descritta di sopra è forse la più semplice tra quelle capaci di dare le due specie di elettricità.

Sì l'uno come l'altro conduttore, quando la macchina sia in azione, attira i corpi leggeri. Fra esso e un corpo conduttore vicino tragittano a brevi intervalli di tempo delle vivaci e sonore scintille, che secondo l'ipotesi frankliniana sono fatte di fluido elettrico scagliato dal conduttore positivo al corpo vicino, o da questo al conduttore negativo. Accostando ad uno dei conduttori il rovescio della mano o il braccio nudo, si prova una sensazione come se diasi di quella parte in un ragnatelo, e nasce dall'erigersi i peli attirati dal conduttore. Le parti più prominenti del conduttore, e meglio le punte di corpi che comunichino con esso, mandano un venticello; è un movimento dell'aria che dopo ricevuto o ceduto elettrico viene respinta. Serve ad esplorare questo venticello una fiamma di candela che si accosti ad una di esse punte che sia orizzontale (fig. 251); la fiamma ne viene piegata dalla parte opposta.

Si dice *arganello elettrico* un apparato di cinque o sei raggi metallici orizzontali terminati in punta, e ripiegati ciascuno alla estremità per uno stesso verso, il cui sistema si appoggia per un cappelletto centrale su di un'asta metallica sorgente dal conduttore (fig. 252). Quando la macchina elettrica è in

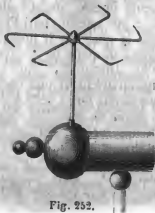



Fig. 251. Fig. 252.

azione, il sistema di raggi piglia a girare veloce nel verso opposto a quel delle punte per la ripulsione fra ciascuna punta e l'aria prossima che si è elettrizzata similmente. Il moto non è un effetto di reazione del fluido elettrico per l'escita dalle punte, come sarebbe prodotto da un fluido premente nell'interno del sistema, giacchè nel vuoto l'arganetto isolato e in comunicazione con la macchina elettrica non gira.

Una persona isolata su d'uno sgabello il quale abbia le gambe di vetro (*sgabello isolante*), se tiene appoggiata una mano al conduttore della macchina in azione, si elettrizza; e allora si può cavare scintille dal suo corpo e dalle vesti come dal conduttore stesso della macchina. La persona elettrizzata risente una puntura nella parte da cui la scintilla scocca; del rimanente non ha sensazioni moleste; le pare solo che venga un'aura leggera a lambirle il viso e le mani; i capelli si rizzano e si dirigono verso i corpi che altri le tenda al di sopra della testa. Il primo che trasse così una scintilla dal corpo umano fu Dufay nel 1734.

389. *Fiocco elettrico. Stelletta elettrica.* Fissata sul conduttore positivo un'asticciuola puntuta, si faccia agire la macchina nell'oscurità; si vede sulla punta, specialmente s'ella è smussata, un *fiocco* formato di parecchi raggi luminosi filiformi che nel partirsi dalla punta divergono a guisa di pennello e illanguidiscono e scompajono alla distanza di 8 o 12 linee. Se invece la punta è annessa al conduttore negativo, presenta una luce assai più breve e tutta in sè raccolta, che si dice la *stelletta*. Nella ipotesi che i fenomeni elettrici derivino da un fluido unico, è più naturale il riguardare il fiocco siccome prodotto da una diffusione del fluido e la stelletta come cagionata da un assorbimento di esso, anzichè adottare l'idea di movimenti contrarii. Egli è per questo che i Frankliniani ritengono che l'elettricità vitrea la quale dà il fiocco sia elettricità per eccesso, e che la resinosa la quale dà la stelletta sia elettricità per diffetto.

390. *Attività delle macchine elettriche.* L'attività delle macchine elettriche si può considerare da due aspetti, cioè o per riguardo alla *forza* della elettricità somministrata o per riguardo alla *copia* di essa. Per definire la forza il mezzo più semplice è di misurare la distanza a cui la macchina può scagliare le stintille; affinchè le prove fatte così con le varie macchine siano paragonabili tra loro, è d'uopo che le estremità dei conduttori tra le quali scoccano le scintille abbiano dimensioni poco diverse e tra loro e dall'una macchina all'altra. La copia

della elettricità d'un macchina si può valutare dal numero delle scintille date per ogni giro.

Le macchine comuni si dicono forti se lanciano scintille alla distanza di 5 o 6 pollici. La forza e la copia della elettricità delle macchine non vanno sempre del pari; macchine a disco grande e non bene isolate somministrano l'elettricità in copia ma con forza non grande; macchine a disco piccolo e bene isolate l'opposto.

I vetri meglio atti a fare macchine elettriche sono quelli che contengono poco alcali e quelli a base di potassa; i vetri da specchio antichi di Murano, a tinta verde-giallognola, sono migliori dei moderni. Il vetro vuol essere non molto grosso: dicesi che acquisti molta potenza elettrica se sta esposto al sole un certo tempo, per esempio, tutta una giornata estiva.

I cuscinetti si fanno di cuojo sottile, imbottiti di crini, e se ne copre la superficie sfregante con bisolfuro di stagno (*oro musivo*) o con amalgama di stagno e zinco [1]; perchè questa sostanza vi si attacchi si frega prima leggermente la superficie dei cuscinetti con un po' di burro di cacao.

Ora son tornati in uso, e con grande vantaggio in paragone dei cuscinetti di crini, certi strofinatori fatti d'una tavoletta di legno ben piana, vestita d'un cuojo flessibile su cui è stesa una foglia di stagno e su questa un pezzo di taffettà, che sopravvanza dallo strofinatore per alcuni centimetri. La superficie sfregante è quella del taffetà spalmata d'oro musivo o meglio di una lega di stagno, di zinco, di bismuto, e di mercurio, ridotta in polvere. Due viti premono convenientemente lo strofinatore al disco.

Uno strofinatore coperto di amalgama serbasi attivo alla lunga se si badi a togliere la polvere che il disco vi porta. Quando occorra di rinnovarvi l'amalgama, si levi tutto il vecchio. A volte si pulisca dell'amalgama il vetro adoperando con etere solforico.

(1) L'oro musivo si prepara così: fatto un amalgama con due parti di stagno ed una di mercurio, lo si fonde in un crogiuolo, poi si versa fuso in un mortajo di bronzo dove si riduce in polvere; vi si aggiunge una parte e mezzo di zolfo ed una di sale ammoniaco, e si rimesta ben bene. Dopo si mette il tutto in un matraccio di vetro o in un crogiuolo grande che resti libero un quarto della capacità, e si espone per più ore a fuoco moderato. Rimane in fondo del vaso un corpo leggero, gialliccio, splendente, di struttura lamellare; è l'oro musivo.

L'amalgama di stagno e di zinco si prepara col fondere uniti in parti eguali i due metalli, aggiungervi due parti di mercurio, agitare il tutto in una boccia e poi polverizzarlo al mortajo.

591. *Macchina idro-elettrica.* Una macchina che somministra elettricità in grande copia è la macchina idro-elettrica di Armstrong. L'origine sua fu così. Nel 1840 presso Newcastle una caldaja di macchina a vapore guastatasi dava un soffione di vapore dalla valvola di sicurezza. L'operajo accorso a provvedere, mentre allungava una mano per prendere la leva della valvola ed aveva l'altra mano nel getto vaporoso, ricevette dalla leva una vivace scintilla e provò una scossa forte. Armstrong, saputa la cosa, fece esperimenti con altre caldaje e vide che il vapore frizzato da esse era carico di elettricità positiva; isolata una caldaja, trovò ch'essa si elettrizza in meno quando per mezzo di punte si sottrae l'elettricità positiva al vapore che ne sfugge. Per rendere utile questa nuova maniera di produrre i due stati elettrici, immaginò la macchina rappresentata dalla figura 253.

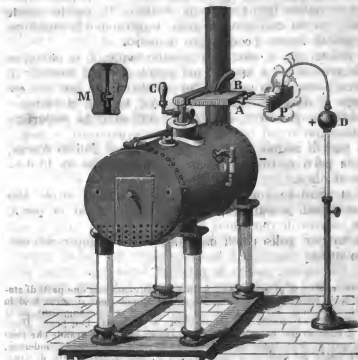



Fig. 253.

È una caldaja di lamine di ferro, col suo fornello, isolata

sopra colonnette di vetro, e munita della valvola di sicurezza. Un tubo verticale di cristallo (O), applicatovi su d'un fianco, e comunicante con essa per i due capi, dà a vedere l'altezza dell'acqua che vi è dentro. Dalla parte superiore della caldaja sorge il manubrio (C) d'una chiave, che mosso quando il vapore è giunto ad una certa tensione (5 o 6 atmosfere), apre a questo la via che lo mette in una scatola (B) dentro la quale corrono diversi cannelli di ferro che lo scaricano poi nell'aria. Il canale nelle parti estreme (A) dei cannelli è in legno duro, ed è ristretto in un luogo e un po' ripiegato (come dimostra la sezione ingrandita M), cosicchè il fluido, che va secondo la freccia, vi soffre molto attrito. La scatola (B) contiene dell'acqua fredda che, umettando certi fili che avvolgono i cannelli, condensa alquanto il vapore mentre vi corre, ond'esso poi prorompe nell'aria misto di globuli acquosi. Nei getti di vapore si colloca un pettine di ottone (P) che fa parte di un conduttore isolato (D). Quando la caldaja è in comunicazione col suolo, questo conduttore isolato si carica di elettricità positiva; quando invece il conduttore comunica col suolo, e la caldaja è isolata, ella si elettrizza negativamente. E si ottengono scintille grossissime e lunghe, nel primo caso dal conduttore, nel secondo caso dalla caldaja. Per questo effetto conviene che sia, come si disse, in comunicazione col suolo o la caldaja o il conduttore, perchè la separazione dell'elettrico possa farsi di continuo.

Una piccola caldaja che contenga non più di 36 litri d'acqua può dare 4 o 5 scintille al minuto secondo lunghe da 12 a 15 centimetri; le caldaje grandi riescono 4 o 5 volte più forti. La macchina serve bene anche in tempo umido; il calore del fornello mantiene asciutte le colonnette di vetro che isolano la caldaja.

Faraday per molte prove ha veduto che la cagione dell'elettrico in questa macchina è lo sfregamento dei globuli acquosi, portati dal vapore, contro le pareti di legno delle ultime parti dei canali. Se i globuli acquosi mancano, l'elettrico manca; se mutasi la qualità del legno nei canali, varia pure la forza dell'elettrico; se il canale è di avorio la forza è piccolissima o nulla. L'acqua dev'essere pura; se tiene un sale acido l'effetto è minore o non c'è più, perchè l'acqua divenuta meglio conduttrice facilita la riunione dell'elettrico alla materia, e la riunione succede tosto alla separazione dentro i canali. Messa nell'acqua dell'essenza di trementina gli effetti sono inversi, il fluido si elettrizza in meno e la caldaja in più.

È necessario pulire spesso le parti interne della macchina; per questo si scalda nella caldaja una soluzione di potassa che poi si lascia sfuggire dai cannelli; e dopo si lavano le parti interne con acqua ben pura. Inoltre giova dar qualche tratto di lima alla superficie interna dei canali di legno dove il tessuto si ammollisce e si altera al vapore.

392. *Distribuzione dell'elettrico nei corpi. Tensione elettrica.* In un corpo che sia nella condizione sua ordinaria la dose naturale di elettrico trovasi distribuita uniformemente nella massa; ciascuna parte del corpo è allo stato naturale.

Sia un corpo conduttore: quand'esso è elettrizzato in più, tutto l'elettrico eccedente si trova alla superficie. Ecco la prova: una sfera di metallo (fig. 254), isolata su di un sostegno

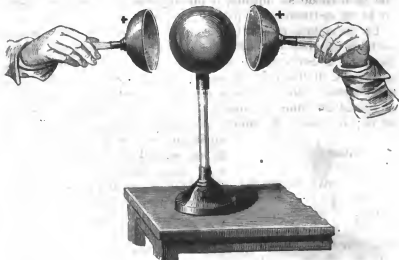



Fig. 254.

di vetro, si possa chiudere in due calotte emisferiche sottilissime, pur di metallo, che la tocchino in tutta la sua superficie, le quali siano munite di manichi isolanti. Si elettrizzi la sfera nuda, poi le si applichino le due calotte a coprirla, tenendole per i manichi; indi si levino via rapidamente e insieme. Si trova ch'elle sono elettrizzate ambedue e che la sfera non serba più nessuna elettricità. L'elettrico dunque passò dalla sfera alle due calotte quando facevano corpo con lei e venne tutto alla superficie del sistema.

La proprietà dell'elettrico di ridursi tutto alla superficie dei

corpi è una conseguenza necessaria della ripulsione che esercitano le molecoline del fluido le une sulle altre. Per questa l'elettrico eccessivo deve trasferirsi tutto quanto alla superficie, che è la sola parte dove il corpo conduttore confina con un mezzo non conduttore. Si immagina che l'elettrico eccessivo di un corpo formi alla superficie di esso uno strato sottilissimo il quale sia limitato esteriormente dalla superficie medesima del corpo, e sia più o meno denso, oppure più o meno grosso, oppure questo e quello, nei diversi luoghi del corpo, secondo che l'elettrico è più o meno accumulato in essi.

Chiamasi *tensione elettrica* la forza con che un corpo od una parte sua tende a disfarsi della elettricità eccessiva o ad attirare a sè l'elettrico dai corpi vicini o dall'aria. Si ammette che la tensione sia proporzionale alla densità o grossezza dello strato di elettrico.

La distribuzione dell'elettrico cioè la tensione nelle diverse parti di un corpo si esplora e si riconosce col mezzo di un dischetto di carta dorata munito di un manico isolante (*piano di prova*). Il dischetto si porta a toccare la parte che si vuole; ivi esso facendo sistema col corpo prende una elettricità di eguale tensione che quella della parte e ritrattone la conserva; il valore di questa tensione si misura dal grado di ripulsione che il disco esercita su di un pendolino isolato col quale esso abbia diviso per contatto la elettricità stessa che aveva ricevuto da quella parte del corpo. Serve bene alla misura la bilancia di Coulomb (§ 51) in cui la leva orizzontale (fig. 255) sia una bacchettina di gomma lacca (o) che porti un disco od un globetto conduttore (n); la leva fa qui l'ufficio del pendolino; il piano di prova (m) si porta a contatto del globetto o del disco (n) della leva, e si misura poi la ripulsione che ne segue.

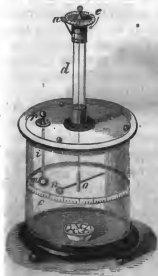



Fig. 255.

D'ordinario suolsi pigliare indizio del grado di tensione col mezzo dei così detti *elettroscopii*, che sono strumenti fondati pure sulle ripulsioni elettriche. L'elettroscopio *a quadrante*

è un pendolino (EF, fig. 256) adattato ad un'asticciuola conduttrice verticale (CD), che, messo per questa (mediante la punta G) in comunicazione con un corpo elettrizzato, devia dalla verticale facendo con essa un angolo di cui si legge il valore su di un quadrante (AB) annesso. L'elettroscopio *a pagliette* (fig. 257)

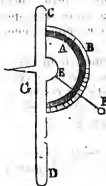



Fig. 256.

Fig. 257.

è costituito da due pagliette appese verticalmente e vicine l'una all'altra nell'interno di una boccia di vetro; esse, quando comunicano con un corpo elettrizzato mediante il cilindretto metallico a cui sono appese, il quale sorge dal collo della boccia e termina in una sferetta, o in un disco che chiamasi cappello, divergono di un angolo che si misura per una graduazione segnata sulla parete interna della boccia. In luogo delle pagliette possono essere due listerelle d'oro.

Gli elettroscopii a quadrante si può renderli paragonabili tra loro col fare il pendolino di tal peso che, per una tensione valevole a dare una scintilla di certa lunghezza tra due conduttori in condizioni ben determinate, devii di un certo angolo. Anche gli elettroscopii a pagliette si può farli paragonabili tra loro e con quelli a quadrante mettendo una corrispondenza definita tra le graduazioni degli uni e degli altri.

Nei corpi sferici la densità o la grossezza dello strato di elettrico sovrabbondante è uguale in ogni parte della superficie ; nei corpi d' altra forma è maggiore nelle parti più prominenti che nelle meno, e piccolissima o nulla nelle cave. In un sistema di corpi è sensibile solo nelle parti più esterne e quasi nulla nelle parti interne della superficie. Sulle punte poi

l'elettrico è condensatissimo, e può da esse fluire facilmente nell'aria.

Nella ripartizione dell'elettrico eccedente tra due o più conduttori comunicanti non ha veruna influenza la natura chimica di questi.

Raddoppiandosi o triplicandosi la quantità dell'elettrico eccedente in un corpo o in un sistema di corpi, si duplica e si triplica la densità dello strato elettrico in tutti i punti della superficie.

Nei corpi elettrizzati in meno l'elettricità negativa, cioè la materia ponderabile spoglia di elettrico, si trova disposta con le medesime leggi che l'elettricità positiva; per essa, nell'ipotesi da cui prendiamo il linguaggio, vuolsi usare, non l'espressione di densità dello strato elettrico, ma quella di grossezza dello strato di materia spoglio di elettricità.

L'ipotesi di Franklin e l'ipotesi di Symmer danno con pari facilità ragione matematica di tutti i casi della distribuzione dell'elettrico nei conduttori.

Dal fatto che il fluido elettrico eccessivo in una sfera conduttrice si dispone uniformemente alla superficie, lasciando allo stato naturale tutte le parti interne, si argomenta che le particelle del fluido elettrico si respingono mutuamente in ragione reciproca dei quadrati delle distanze (1).

In un corpo coibente elettrizzato l'elettrico tende a distribuirsi come in un conduttore, ma viene molto impedito nel suo moto dalla facoltà coibente che opera come una resistenza.

593. *Capacità dei corpi per l'elettrico. Carica.* Si dice *capacità dei corpi per l'elettrico* l'attitudine che essi hanno a tenere dell'elettrico eccedente o a mancare di una porzione di fluido naturale. Si distingue la capacità *assoluta* e la capacità *relativa;* la prima è quella di un corpo preso da solo, e dipend[illegible] e dalla [illegible]dezza di esso; la seconda è quella [illegible]i corpi coi quali sia in comu[illegible] grandezza dei corpi e dalla [illegible]pettiva; così, per esempio, di [illegible]guale superficie posti l'uno di se[illegible] maggiore capacità; e di più corpi [illegible]e hanno maggiore capacità i più esterni

[illegible] ordinati della dimostrazione nel *Corso elemen*[illegible] *di Giuseppe Belli.* Vol. III, pag. 82 e seg.

Dicesi *carica elettrica* di un conduttore elettrizzato la quantità di elettrico che vi sovrabbonda o che vi manca: la carica può dunque essere positiva o negativa.

La diversa accumulazione dell'elettricità nelle varie parti superficiali di un corpo, o come dicesi, l'intensità elettrica di esse parti ha un limite determinato che non varia colla grandezza o colla figura del corpo, ma soltanto colla condizione coibente dell'aria; e perciò la carica di un corpo non si può accrescere indefinitamente, ma solo insino a che, arrivata in qualche luogo l'intensità elettrica al detto limite, venga quivi l'elettricità a disperdersi rapidamente nell'aria.

È chiaro che la carica è in ragione composta della capacità assoluta e della tensione, e che quindi in due corpi a carica uguale e capacità diversa le tensioni sono in ragione reciproca delle capacità.

394. *Induzioni elettrostatiche.* Un corpo qualunque elettrizzato A (fig. 258) esercita sempre un'azione sull'elettrico di

Fig. 258.

qualsivoglia altro corpo vicino B; sia questo isolato o in comunicazione col suolo, sia allo stato naturale o elettrizzato. E l'azione consiste in ciò che una porzione dell'elettrico di B è spinta verso le parti più lontane da A, se questo è elettrizzato in più, e attirata verso le più vicine ad A, se questo è elettrizzato in meno.

Il corpo A sia elettrizzato in più, e B sia conduttore isolato e allo stato naturale. Appariscono nelle due parti di B, la più vicina e la più lontana rispetto ad A, due opposte elettricità. Queste si dicono elettricità *accidentali* od *eccitate*, e in particolare si dice elettricità *indotta* la negativa che si manifesta nella parte più vicina ad A, elettricità *attuata* o *di pressione*

la positiva che si produce nella parte più lontana da A. Si chiama *eccitamento*, *induzione*, *attuazione*, o anche *influenza elettrica* l'azione di A sopra B, la quale fa lo spostamento, e corpo *attuante* il corpo A che esercita l'azione, *attuato* il B che la subisce. Nell'ipotesi di Franklin la causa di questa azione è la ripulsione che il fluido sovrabbondante di A esercita verso il fluido naturale del conduttore isolato B. Rimosso o scaricato il corpo A, torna il corpo B a riacquistare in tutte le sue parti lo stato naturale.

Le leggi generali di questo eccitamento elettrico sono:

1.° Lo smovimento elettrico non succede che alla superficie del corpo attuato; le parti interne rimangono allo stato naturale.

2.° La intensità sì della elettricità indotta come della attuata è tanto maggiore, ad altre circostanze pari, quanto più sporgenti sono i punti della superficie ne' quali si considera lo stato elettrico.

3.° L'intensità dell'elettricità negativa è massima nei punti i più vicini all'attuante e va decrescendo rapidamente nei punti mano mano più lontani dallo stesso; a una certa distanza poi cessa affatto, per dar luogo in distanza maggiore all'elettricità positiva, la quale, crescendo ancor più la distanza, si va rinforzando sempre più fino ai punti più lontani dal corpo attuante. La parte dove si manifesta l'elettricità indotta è minore di quella dove si manifesta la attuata.

4.° Lo smovimento è tanto più forte quanto maggiore è la quantità dell'elettrico eccedente nel corpo attuante.

5.° Lo smovimento è tanto più forte quanto più vicino è il corpo attuante.

Simili a queste sono le leggi degli smovimenti prodotti nei conduttori isolati allo stato naturale dai corpi elettrizzati in meno, nè occorre altro cangiamento che quello di ritenere elettrizzati in meno i luoghi che nel precedente caso erano elettrizzati in più, e viceversa.

L'intensità poi delle elettricità attuate non varia al mutarsi la specie della elettricità attuante, quando questa abbia in ambidue i casi la medesima tensione.

Analoghi smovimenti vengono prodotti nei conduttori isolati ed elettrizzati in più o in meno da corpi pure elettrizzati o in più o in meno. Se, per esempio, il corpo attuante e l'attuato sono entrambi elettrizzati in più, avviene che una porzione di fluido elettrico dell'attuato lascia la parte più vicina all'attuante e si porta verso la più lontana, e però in quella

diminuisce la densità del fluido sovrabbondante, o comparisce anche lo stato negativo, mentre in questa cresce la densità elettrica.

Se il corpo attuato comunica col terreno si mostra elettrizzato solo oppostamente all'attuante con una intensità che è massima nelle parti più vicine a questo e che si fa gradatamente minore nelle parti più e più lontane. Codesta intensità massima poi è maggiore che quando il corpo attuato trovasi isolato e colla sua dose naturale di elettrico; diffatti se mentre questo corpo isolato mostra i segni delle due elettricità eccitate, lo si mette in comunicazione col suolo, si vedono crescere i segni della elettricità indotta, e scomparire quelli dell'attuata; che se allora si toglie la comunicazione tra il suolo e il corpo attuato, questo conserva l'elettricità indotta.

Il modo ordinario di adoperare l'elettroscopio a pagliette o a foglie d'oro si fonda sul fenomeno delle induzioni. Quando si avvicina alla sferuzza o al cappello dello strumento un corpo elettrizzato, per esempio, in meno (come nella figura 259), questo corpo eccita nel sistema isolato dello strumento (sferuzza o cappello, cilindro e foglie) le due elettricità indotta ed attuata, la prima nella sferuzza, la seconda nelle foglie, ed è quest'ultima che fa divergere le foglie le quali così danno segno che il corpo è elettrizzato. Se vuolsi conoscere di che specie è l'elettricità sua, basta toccare con un dito la sferuzza mentre dura l'induzione; allora passa nel suolo l'elettricità

Fig. 259.

attuata e lo strumento serba solo l'elettricità contraria a quella del corpo inducente; le foglie ricadono perchè lo stato elettrico è dalla induzione trattenuto nelle parti prossime al corpo (A), ma, ritirando prima il dito e poi il corpo, divergono di nuovo per l'elettricità indotta che rimasta libera si distribuisce per tutto il sistema. Questo è dunque carico di elettricità contraria alla inducente. Per conoscerne la specie si avvicina poco a poco alla sferuzza un cilindro di vetro strofinato con

un pannolano; se la divergenza delle foglie cresce vuol dire che l'elettricità dell'apparecchio è respinta nella parte inferiore, e che essa è della specie medesima del vetro; se la divergenza diminuisce vuol dire che l'elettricità dell'apparecchio è richiamata da quella del vetro, e però è dell'altra specie cioè negativa. Se ne inferisce che l'elettricità del corpo inducente è negativa nel primo caso, positiva nel secondo.

Si suol chiamare *atmosfera elettrica* di un corpo la sfera di attività sensibile della sua elettricità, cioè lo spazio tutto all'intorno di lui nel quale sono sensibili gli effetti dello stato suo elettrico; ma vuolsi avvertire di non applicare a questo vocabolo l'idea di una diffusione della sostanza elettrica all'intorno del corpo. Bensì è certo che l'aria, o il mezzo coibente qualunque in cui sono i corpi che presentano i fenomeni descritti, prende parte alla produzione di essi, e contribuisce alla grandezza loro, come vedremo. Forse ciò avviene, mediante una certa disposizione a cui si riduca l'elettrico proprio di ciascuna molecola dell'aria, il quale senza staccarsi dalla molecola si condensi verso il corpo attuante se questo è elettrizzato in meno, o nell'altro verso se è elettrizzato in più, lasciando in ambedue i casi deficiente di elettrico la molecola nella banda opposta. Questa disposizione si dice *polarità elettrica* delle molecole. Secondo una tale veduta l'induzione si fa per condizioni eccitate tra molecole e molecole contigue e non per azione a distanza sensibile come pare a noi che faccia la gravitazione.

595. *Induzioni reciproche. Elettricità dissimulata.* L'elettricità indotta in un corpo comunicante col suolo reagisce sulla condizione elettrica del corpo attuante. Questa reazione dicesi *induzione reciproca* per distinguerla dall'azione del corpo attuante la quale dicesi *induzione diretta.* L'induzione reciproca fa che lo strato elettrico dell'attuante cresca (di densità o di grossezza) nelle parti più vicine all'attuato e diminuisca nelle più lontane; per essa una porzione di elettricità dell'attuante è come avvinta, ritenuta a luogo, sicchè non può spiegare veruna tendenza a comunicarsi ad altri corpi o ad altre parti del corpo attuante medesimo, e quindi non dà segno di sè. Tale porzione di elettricità si dice *dissimulata*, ed è prossimamente uguale a quella che verrebbe ad essere eccitata nel corpo attuante se l'attuato serbasse la elettricità indotta, e l'attuante si facesse comunicare col suolo. Una dissimulazione analoga ha luogo nella elettricità del corpo attuato per virtù dello stato elettrico dell'attuante.

L'induzione reciproca è tanto maggiore quanto maggiore è la tensione dell'attuante e quanto minore è la distanza fra i due corpi; e se questi sono buoni conduttori e tenuti sempre nelle stesse posizioni, il rapporto fra le elettricità dissimulate nell'uno e nell'altro è costante al variare delle tensioni, ed è lo stesso per ambedue le specie di elettricità.

Per la dissimulazione di elettricità nei due corpi diminuisce in essi la tensione, e quindi ciascuno per arrivare ad una data tensione deve ricevere una copia di elettrico assai maggiore quando ha vicino l'altro corpo che non quando è solo, perciò si usa dire che ciascuno dei due corpi accresce la capacità dell'altro.

L'induzione reciproca avviene pure quando ai conduttori elettrizzati si avvicinano conduttori isolati allo stato naturale; ma allora avviene in minor grado, e tanto minore quanto più piccole sono le dimensioni di questi conduttori avvicinati. Essa produce i suoi effetti anche fra corpi tutti elettrizzati.

Se l'intervallo dal corpo attuante all'attuato è occupato da una lastra coibente, la capacità dei due corpi diventa molto maggiore di quella che è senza la lastra. La migliore spiegazione di tale aumento consiste nell'ammettere che l'elettrico naturale di ciascuna molecola della lastra coibente si sposti alquanto per le azioni cospiranti della elettricità inducente e della indotta, ma non esca della molecola appunto per la coibenza, cosicchè venga a generarsi una polarità elettrica (§ 393) di tutte le molecole, la quale rinforzi a un tempo e l'induzione diretta e la reciproca, facendo sì che l'elettricità del corpo attuante operi per mezzo di lei più energicamente sull'attuato, e vi induca una più copiosa elettricità contraria, e questa a vicenda dissimuli per mezzo di lei una parte maggiore della elettricità dell'attuante.

396. *Coibenti armati.* Una applicazione importante di questo fatto si ha nei *coibenti armati.* Un coibente armato è una lastra coibente o piana o curva, rivestita nelle due facce, salvo un po' di lembo all'ingiro, da due sottili foglie di metallo o d'altra materia conduttrice che chiamansi *armature*, delle quali l'una si lascia isolata e serve a ricevere l'elettricità somministrata dalla macchina elettrica o da altra sorgente, e l'altra intanto si tiene in comunicazione col suolo o con altri conduttori (fig. 260), e però, elettrizzandosi contrariamente per induzione, giova ad aumentare la capacità della prima.

Si distinguono due sorta di coibenti armati: il *quadro fran-*

kliniano e la *boccia di Leida;* in quello il coibente è una lastra piana (fig. 260), in questa è una bottiglia (fig. 261).

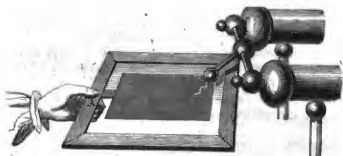



Fig. 260.

Se vuolsi una capacità grandissima per l'elettrico si uni-

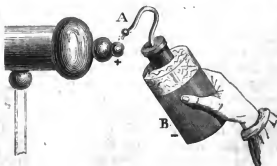



Fig. 261.

scono insieme molti di siffatti apparecchi, mettendo separatamente in comunicazione fra loro le armature isolate, e pure fra loro quelle non isolate. Si hanno così i coibenti armati che si dicono *coibenti composti* o *batterie* (fig. 262), a differenza dei primi che si dicono *semplici.*

I coibenti armati, o semplici o composti, servono a raccogliere in piccolo spazio una grande quantità di elettrico, la quale, poi nello scaricarsi dei coibenti, produca effetti poderosi.

La scarica dei coibenti si ottiene col mettere in comunica-

zione l'una armatura coll'altra mediante un arco metallico. Se

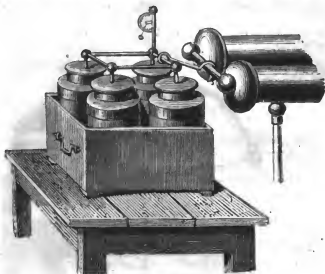



Fig. 262.

la comunicazione si fa col mezzo del nostro corpo, toccando con una mano un'armatura coll'altra mano l'altra armatura, si riceve una scossa che dalle cariche grandi può tornare dannosa. Un coibente semplice si può scaricare impunemente con un arco a cerniera tutto metallico tenuto in mano per la sua parte di mezzo (fig. 263). Una batteria vuolsi scaricare con un arco tenuto per manichi isolanti il quale si chiama *eccitatore;* se l'arco è interrotto in un luogo, ed ivi si colloca un corpo conduttore, per esempio, un animale (fig. 264), nella scarica l'elettrico passa per questo corpo e lo offende; l'animale può morirne.

Fig. 263.

L'appellativo *di Leida* venne alla boccia dal nome della città

da cui si diffuse la notizia della scossa poderosa ch'ella può

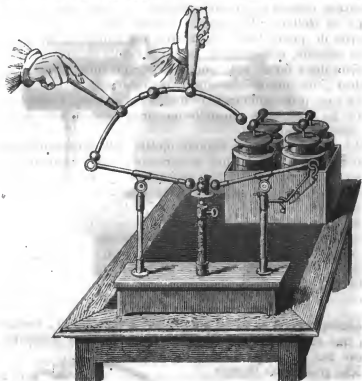



Fig. 264.

dare. Musschenbroek scrisse di là a Parigi nel gennajo 1746 che, occupandosi egli con un suo amico di elettrizzare l'acqua in un vaso di vetro tenuto a tal fine in comunicazione col conduttore della macchina, avvenne che uno di loro toccasse con una mano questo conduttore intanto che con l'altra mano stringeva esternamente il vaso dell'acqua, e che in quell'atto risentisse una scossa molto forte. L'acqua faceva da armatura interna, la mano di armatura esterna. Le molte esperienze fatte poi da Franklin con coibenti armati piani valsero a questi l'epiteto di *frankliniani.*

Molte bocce di Leida si può caricarle a uno stesso tempo in questo modo. L'armatura interna di una è in comunicazione col conduttore della macchina, e l'armatura esterna con la interna di un'altra; l'esterna di questa è in comunicazione con la in-

terna di una terza, e così via via fino all'ultima boccia, la cui armatura esterna è in comunicazione col suolo. Mentre la macchina dà elettrico all'armatura interna della prima boccia, la esterna di questa boccia dà elettrico per attuazione alla interna della seconda, e similmente la esterna della seconda ne dà alla interna della terza, ecc., onde si caricano tutte. Siffatto modo si dice *delle cariche conseguenti* o di *carica per cascata.*

Le leggi principali circa la capacità dei coibenti armati sono:

1.° La tensione è sensibilmente proporzionale alla quantità di elettrico comunicata.

2.° La capacità è in ragione diretta dell'estensione superficiale della minore armatura, semprecchè ad ogni parte di questa si trovi contrapposta l'altra armatura.

3.° La capacità è in ragione reciproca della grossezza del coibente.

4.° Le parti di coibente armato cariche non agiscono sensibilmente le une sulle altre; quindi segue che è indifferente per la capacità la disposizione di queste parti, per esempio, la forma piana o curva dei coibenti, e che la capacità di una batteria risulta uguale alla somma delle capacità delle singole boccie. La seconda legge è propriamente una conseguenza di questa.

5.° La capacità è diversa per i coibenti di diversa natura. Questa legge fu annunciata la prima volta de Faraday e da Belli senza che l'uno sapesse dell'altro. Anche Harris fece in seguito parecchie sperienze per misurare il potere induttivo specifico dei diversi coibenti. Ecco il valore del potere induttivo di alcune sostanze:

Aria	1,00
Resina	1,77
Pece	1,80
Cera d'api	1,86
Vetro	1,90
Gomma lacca	1,95
Zolfo	2,24.

Faraday trovò che i liquidi coibenti (trementina, nafta rettificata...) hanno più potere induttivo che l'aria. I fluidi aeriformi hanno tutti il medesimo potere induttivo, e lo serbano inalterato comunque si muti la pressione o la temperatura e quindi la densità.

La capacità dei coibenti armati si rappresenta in numeri, prendendo per unità quella di un conduttore metallico a dimensioni determinate, o quella di una unità superficiale di coibente armato a condizioni efficaci ben definite. Un esempio della grande capacità dei coibenti armati sia questo: rappresentata con 1 la capacità di una lamina circolare metallica quando è solitaria, si trova che, affacciando a quella lamina un'altra lamina eguale non isolata con frapposto un vetro grosso $^1/_{100}$ del diametro della lamina, la capacità diventa 164 (1).

397. *Carica dei coibenti armati. Sua sede. Scarica. Residui.* La carica di un coibente armato, cioè la quantità di elettrico sovrabbondante o deficiente nella sua armatura isolata, si può misurare moltiplicando la capacità per la tensione, oppure, meno esattamente, deducendola dalla quantità del movimento della macchina elettrica, oppure dal numero delle scintille date dalla macchina nel fare la carica.

A questa carica pongono un limite:

1.° La perdita di elettrico pel contatto dell'aria;

2.° Il trascorrimento dell'elettrico sulla superficie non armata del coibente fino a giungere all'armatura opposta o ad altro conduttore che lo guidi al suolo;

3.° La scarica spontanea superficiale, cioè il trascorrimento dell'elettrico da un'armatura all'altra in forma di scintilla per qualche luogo del lembo non armato;

4.° La rottura della lastra coibente. A carica forte si fa in un subito, attraverso la grossezza della lastra un forellino capillare da cui raggiano d'ordinario lunghe fessure; e l'elettrico passa pel forellino. Ciò accade talvolta anche nei coibenti carichi lasciati a sè, e quando la loro tensione si è pur molto diminuita. Di solito la rottura avviene in un luogo dove il coibente ha qualche irregolarità o qualche particella straniera meno coibente.

In un coibente armato carico, lasciato a sè, la tensione va gradatamente abbassandosi e scompare: ciò dipende in parte da una reale dispersione di elettrico, e in parte da un occultamento di carica. La dispersione di elettrico succede per le prime due cause accennate che mettono un limite alla carica, le quali operano anche a carica fatta, e sono una comunicazione all'aria ed un trascorrimento superficiale. L'occultamento

(1) Belli. *Corso elementare*, ecc., Vol. III, pag. 246.

di carica poi è prodotto da queste tre cagioni: 1.° la diffusione dell' elettrico sulla superficie nuda del coibente all'intorno dell'armatura isolata; 2.° il ravvicinamento delle elettricità contrarie verso le facce opposte del coibente; 3.° l'aumento della polarità elettrica nelle molecole del coibente.

Le due contrarie etettricità dei coibenti armati carichi risiedono parte nelle armature e parte sulle superficie del coibente, ma in diverse proporzioni secondo la grandezza delle cariche. Nelle cariche deboli vi è più elettricità nelle armature, in quella superficie che tocca il coibente, ma nelle forti ve n' è di più sulle superficie del coibente. E questo si dimostra con una tazza di vetro (B, fig. 265), ad armature di latta mo-

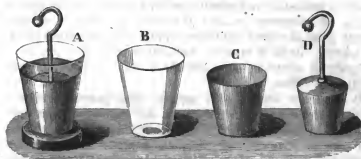



Fig. 265.

bili (C e D). Applicate le armature alla tazza (come in A), si elettrizza forte il sistema, tenendo l'armatura esterna in mano e ricevendo l' elettrico della macchina per il gancio della interna. Poi si colloca su di una base isolante; si leva con la mano l'armatura interna, indi la tazza e si posano le tre parti separate (B, C, D) sul suolo; così le due armature, se erano elettrizzate, divengono allo stato naturale. Si rimette sulla base isolante l'armatura esterna, vi si introduce la tazza portandovela tenuta con due dita per l' orlo, e in questa l' armatura interna. Ricostruita in tal modo la tazza armata, si prova a scaricarla e si vede che dà una scintilla press' a poco quale se le due armature non si fossero scaricate. Dunque le due contrarie elettricità avevano sede nelle due superficie del vetro.

Quale ufficio compiono le armature se nelle esperienze di maggior conto le cariche risiedono quasi del tutto sul coibente?

esse valgono: 1.° a distribuire sul coibente le cariche; 2.° a raccoglierne le scariche.

Nella scarica dei coibenti armati, fatta col mettere in comunicazione tra loro le due armature mediante un arco conduttore, per esempio, toccando con una estremità dell'arco l'armatura negativa ed accostando l'altra estremità all'armatura positiva fino ad averne la scintilla (fig. 263), non avviene propriamente che l'elettrico eccessivo dell'una armatura transiti per l'arco e passi all'altra tutto di un getto, ma comincia un efflusso parziale di elettrico dall'armatura positiva all'estremità vicina dell'arco e insieme un afflusso parziale di elettrico dall'altra estremità dell'arco all'armatura negativa in contatto, e quindi succede un cambio del fluido naturale dell'arco che si fa da molecola a molecola; nel quale cambio l'elettrico dalla estremità vicina all'armatura positiva trascorre all'altra estremità; e questo gioco si ripete moltissime volte in quell'attimo che dura la scarica, onde si rinnova moltissime volte nell'arco la dose naturale di elettrico, e la scintilla è una rapida successione di moltissimi efflussi.

Un coibente armato offre ancora, dopo la scarica, alcuni residui di elettricità. Questi sono di due specie: 1.° un residuo sensibile *prontissimo* che si può avere nell'istante successivo alla scarica, e vuolsi riguardare come una frazione di carica rimasta indietro per imperfezione dell'arco scaricatore; 2.° un residuo *renitente* o latente, non sensibile sul principio ma che diventa sensibile di poi a poco a poco; esso è costituito dall'elettrico occultatosi per le cagioni dette di sopra il quale dopo la scarica torna a manifestarsi.

398. *Condensatore.* Un'utile applicazione delle induzioni reciproche è nel *condensatore*, strumento immaginato da Volta, che serve ad accogliere ed aumentare (condensare) e rendere poi sensibile l'elettricità di debolissima tensione di cui non potrebbero dare indizio i più delicati elettroscopi. In generale consiste in un disco metallico, a manico isolante, posato sopra una base semicoibente, od affacciato ad altro disco metallico non isolato, e diviso da esso per un sottile strato coibente. Quel disco ha in tale posizione una grande capacità per l'elettrico, e però messo a contatto per poco con un corpo debolmente elettrizzato, poi allontanato dalla base o dall'altro disco, diminuisce di capacità e palesa l'elettricità ricevuta.

Il condensatore a due dischi metallici si può unire all'elettroscopio a pagliette o a foglie d'oro, adattando al cappello di

questo il disco senza manico (fig. 266). Se allora si tocca uno dei dischi affacciati (fig. 267) col corpo elettrizzato, e in pari

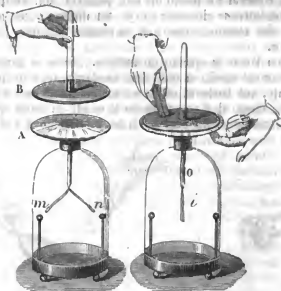



Fig. 266. Fig. 267.

tempo l'altro disco con un dito umido, poi si ritira il dito, e in seguito il corpo, i due dischi restano carichi di elettricità contrarie le quali si dissimulano a vicenda finchè i dischi stanno affacciati, e si palesano tosto che sollevasi il disco superiore; l'elettroscopio dà i segni della elettricità del disco inferiore.

599. *Elettroforo.* Un' altra applicazione delle induzioni elettriche si ha nell'*elettroforo*, strumento pure immaginato da Volta, che acconciamente preparato dà un gran numero di scintille elettriche prima che perda della sua attività e che occorra di ricaricarlo. L' elettroforo è costituito delle parti seguenti: 1.° un recipiente conduttore, detto *piatto*, di forma circolare, di fondo piano e con un orlo piegato all' insù per una mezza linea od una linea; 2.° uno strato coibente di una composizione resinosa (1), alquanto consistente, alto da una li-

(1) La composizione adoperata da Volta era di tre parti di trementina, due di ragia ed una di cera, bollite insieme per più ore, aggiuntovi un po' di minio per avvivarne il colore. Si può fare con due terzi di gomma lacca e un terzo di trementina, e con molte altre materie.

nea e mezza a due linee, che fu versato fuso nel piatto e ne sormonta l'orlo alcun poco. Questo strato si dice *mastice* o *stiacciata*, e forma col piatto un solo pezzo (B, fig. 268); 3.° una lamina conduttrice circolare (A) di un diametro un po' minore di quello del mastice, munita di un manico isolante, la quale si dice *scudo*.

Ora ecco l'uso di questo strumento. Messo il piatto in comunicazione col suolo, si elettrizza la stiacciata, d'ordinario negativamente, col battervi sopra o una coda di volpe o un pezzo di flanella, dopo vi si sovrappone lo scudo, si tocca questo per un istante con un dito (fig. 269), poi lo si solleva pel suo ma-

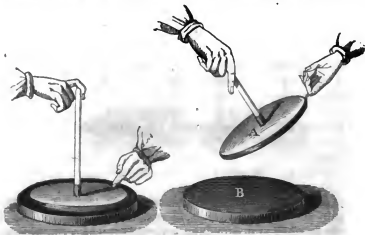



Fig. 269. Fig. 268.

nico isolante, e lo si trova carico di elettricità positiva ch'esso può cedere ad altro corpo mediante una scintilla (fig. 268); si rimette lo scudo sulla stiacciata, lo si tocca di nuovo, lo si rialza, e se ne cava un'altra scintilla; e così di seguito un gran numero di volte.

Elettrizzato il mastice e postovi sopra lo scudo, si può collocare lo strumento su di un isolante, e allora, perchè sia attivo, bisogna ad ogni volta che si tocca lo scudo toccare contemporaneamente anche il piatto.

La spiegazione del gioco dell'elettroforo è questa. Sia l'elettroforo sull'isolante. Lo strato superiore del mastice trovasi elettrizzato in meno per lo strofinamento della percossa, il piatto in più per induzione; e tali due cariche sono abbon-

danti perchè, mano mano che si fecero, dissimularonsi reciprocamente, salvo una piccola parte di quella del mastice; tale piccola parte fa sì che lo scudo posato sul mastice si elettrizzi per induzione, in più nella faccia inferiore, in meno nella superiore. Quando, tenendo un dito al piatto, si avvicina un altro dito alla faccia superiore dello scudo si sente in ambedue le dita una piccola scossa, perchè dal dito prossimo allo scudo salta elettrico a questo in forma di scintilla, e intanto scorre elettrico dal piatto all'altro dito a contatto; e vi scorre perchè a cagione dell'elettrico comunicato allo scudo, fatta più energica l'induzione reciproca dello scudo verso il mastice, diminuisce l'azione del mastice verso il piatto, e quindi rimane libera nel piatto una dose di elettrico. E la quantità di elettrico che passa allo scudo non è solamente quella che basterebbe ad estinguere la tensione negativa di lui quando fosse solitario, e però avesse la capacità normale, ma è molto maggiore a cagione della grande capacità che ha lo scudo per la vicinanza del mastice elettrizzato.

In vece di toccare il piatto con un dito e avvicinare un altro dito allo scudo, si può tenere il piatto in buona comunicazione col terreno, e avvicinare un dito allo scudo fino a toccarlo. Allora, intanto che lo scudo riceve elettrico dal dito, il piatto ne dà al terreno, e lo scudo viene ancora a ricevere la medesima carica.

Caricato lo scudo o in un modo o nell'altro e lasciato sul mastice, i segni elettrici sì dello scudo come del mastice si trovano dissimulati; ma, sollevato lo scudo, appariscono in questo i segni della elettricità positiva e nel mastice i segni della negativa, i quali compariscono per attuazione anche nel piatto se è isolato; che se questo è in comunicazione col suolo, all'alzarsi dello scudo passa dal terreno al piatto una quantità di elettrico che basta a dissimulare compiutamente l'elettricità attuata in esso, e quasi compiutamente anche l'elettricità del mastice.

Quando lo scudo si avvicina a un conduttore non isolato, per esempio, alla mano, a una boccia di Leida, ecc., dà a questi corpi una scintilla per la quale si scarica di quasi tutta la elettricità eccessiva, e intanto il piatto chiama a sè una nuova quantità di fluido elettrico o dal terreno o dai corpi vicini la quale compensi lo stato negativo che si viene a manifestare in esso per la mancanza della elettricità positiva dello scudo.

Rimesso lo scudo sul mastice e rinnovate le comunicazioni

dette di sopra, lo scudo viene a caricarsi un altra volta, e alzato può dare una seconda scintilla e così di seguito per migliaja di volte. A questo modo l'elettroforo serve di macchina elettrica.

L'elettroforo serve anche quale conservatore della elettricità, perchè il mastice mantiene la carica per mesi, tanto più se è coperto collo scudo e in aria secca; può servire anche di condensatore quando il mastice non sia elettrizzato, e allora lo scudo si adopera come piatto collettore.

400. *Attrazioni e ripulsioni tra i corpi elettrizzati.* Nella ipotesi di Franklin la spiegazione dei movimenti dei corpi elettrizzati conseguita necessaria dalle quattro forze elementari accennate al § 385, le quali sono: 1.° una ripulsione vicendevole fra le parti del fluido elettrico; 2.° una attrazione dell'elettrico per la materia pesante spoglia di elettrico; 3.° una attrazione della materia pesante spoglia di elettrico per l'elettrico; 4.° una ripulsione vicendevole fra le parti della materia pesante spoglia di elettrico.

Il fatto che tra due corpi allo stato naturale vicini l'uno all'altro non v'è alcuna azione elettrica sensibile, è prova che le quattro forze sono eguali tra loro, onde si elidono compiutamente due a due; la gravitazione detrae un poco alla quarta forza, ma la differenza che ne viene è assai piccola in confronto della grandezza delle forze stesse (1).

Siccome il calcolo applicato ai fenomeni trova che la efficacia della prima di queste forze è in ragione inversa dei quadrati delle distanze (§ 391), così vuolsi ammettere la medesima legge anche per le altre, giacchè se al mutarsi delle distanze le dette forze si mantengono pur sempre uguali fra loro, bisogna dire che seguono tutte una stessa maniera di variazione.

Secondo queste dottrine pare, a primo aspetto, che non debba effettuarsi nessuna attrazione fra un corpo non elettrizzato ed uno elettrizzato; imperciocchè, se questo è elettrizzato in più l'elettrico eccessivo in esso attira la materia dell'altro e insieme ne respinge con egual forza l'elettrico naturale, e se è elettrizzato in meno, la materia sua deficiente di elettrico attira l'elettrico dell'altro ma ne respinge la materia con egual forza. Ha luogo l'attrazione fra i due corpi perchè il corpo elettrizzato smove il fluido naturale del non elettrizzato, di maniera che quest'ultimo, se è in comunicazione col suolo, rendesi elet-

(1) Belli. *Corso elementare*, ecc., Vol. III, p. 441.

trizzato contrariamente al primo in tutte le sue parti, e per tale ragione viene attratto, e se è isolato, si elettrizza contrariamente al primo nella parte più vicina a questo ed omologamente nella più lontana, e, atteso la differenza delle distanze, viene attratta dippiù la parte elettrizzata contrariamente, che non venga respinta quella elettrizzata omologamente. Così è chiaro che l'attrazione si esercita sempre fra parti elettrizzate contrariamente; senza questa differenza di stato elettrico non vi potrebbe essere attrazione alcuna. L'induzione è il fenomeno precursore necessario di ogni attrazione elettrica fra i corpi.

Un giuoco delle attrazioni e ripulsioni elettriche, il quale, come vedremo, può applicarsi utilmente in qualche caso, è quello che si dice *scampanio elettrico*. Ad un' asta orizzontale conduttrice, che è in comunicazione con la macchina elettrica, sono sospesi tre campanelli, due (A, B, fig. 270) ai due capi dell'asta per fili conduttori, e il terzo (C) nel mezzo per filo isolante; questo campanello di mezzo è in comunicazione col suolo per una catenella metallica. Nei due intervalli fra questo e gli altri due vi sono, sulla linea medesima dei campanelli, due sferuzze di metallo sospese a fili isolanti. Mantenuta la macchina elettrica in azione, ciascuna sferuzza oscilla di continuo, battendo alternativamente ai due campanelli fra cui è sospesa. La ragione è evidente. I due campanelli estremi (A e B) si elettrizzano in più perchè in comunicazione col conduttore della macchina, però attraggono ciascuno la sferuzza vicina, e dopo il contatto la respingono; ogni sferuzza allora è attirata dal campanello medio, elettrizzato, per induzione, in meno e cede ad esso l'elettrico preso dall' altro campanello ed anche si elettrizza in meno; è quindi respinta dal medio ed attirata di nuovo dall'estremo vicino, e così di continuo.

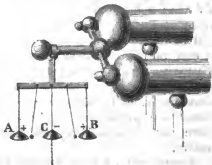



Fig. 270.

Considerate le condizioni dell'elettrico in equilibrio nelle singole parti dei corpi, facciamoci a vedere il moto con che l'elettrico si mette in equilibrio tra le diverse parti di un corpo o tra corpi a contatto oppure a distanza.

401. *Moto dell'elettrico. Moto per comunicazione da molecola a molecola.* L'elettrico può mettersi in equilibrio per tre diversi modi:

1.° per comunicazione da molecola a molecola;
2.° per emissione od assorbimento delle punte;
3.° per scintilla.

Nella prima maniera di moto l'elettrico osserva le seguenti leggi:

1.° La propagazione si fa mediante un generale smovimento dell'elettrico naturale per lo meno di tutte le molecole superficiali del sistema ov'esso elettrico si move.

Se da un corpo transita elettrico ad un altro a contatto, il primo elettrico che da quello si avvicina a questo rimove dalle parti superficiali di questo che sono le più prossime ai luoghi del contatto l'elettrico loro naturale, sospingendolo nelle altre parti superficiali al di là, e viene ad occupare le sedi lasciate da esso; e mano mano che vi passa e si avanza, manda più oltre quell'elettrico già sospinto, il quale alla sua volta sospinge più in là l'elettrico naturale delle parti superficiali successive, e così via via per quanto grande è il corpo; e questo gioco l'elettrico accorrente lo ripete poi di continuo sull'elettrico che gli va innanzi, per tutto il tempo che dura il tragitto. Il fatto delle induzioni (§ 393) ci persuade che tale debba essere la maniera di propagarsi della elettricità. In una maniera simile deve pur propagarsi la condizione che si dice elettricità negativa.

Spesse volte, e forse sempre, codesta propagazione dell'elettrico si fa anche per le parti interne dei corpi; ma non è noto fino a quale profondità sotto la superficie, e con che legge nei diversi casi.

2.° Nei buoni conduttori l'elettrico si rimette in equilibrio in un tempo brevissimo.

Per misurare la velocità dell'elettrico nei fili metallici Wheatstone nel 1834 isolò in una lunga galleria un filo di rame, grosso un quinto di pollice e lungo mezzo miglio (misure inglesi), il quale aveva una breve interruzione nel mezzo, e, dopo ripiegatosi più volte, metteva i due capi presso due conduttori metallici comunicanti l'uno con l'armatura interna d'una boccia di Leida l'altro con l'esterna. La boccia riceveva elettrico di continuo da una macchina elettrica, onde, scaricandosi di tratto in tratto, dava tre scintille, due ai capi del filo ed una alla interruzione, le quali erano lunghe ciascuna un decimo di pol-

lice e disposte in una medesima retta, quella alla interruzione in mezzo delle altre due (fig. 271). La vista immediata non scorgeva differenza di tempo tra lo scoccare di queste e di quella. Wheatstone a rendere sensibile la differenza pose a qualche distanza dai luoghi delle scintille uno specchietto piano di lucido acciajo che, fatto girare velocissimamente intorno a un asse posto nel suo piano e parallelo alla retta delle scintille, dovesse rappresentare all'occhio le immagini di queste, ma dislocate alquanto l'una dall'altra, perciocchè nel piccolo intervallo di tempo tra l'una e l'altra esso muta di posizione. Quando la velocità della rotazione venne ad 800 giri per minuto secondo, apparve il dislocamento delle immagini. Queste non erano tre punti lucidi, erano tre lineette, per la ragione che la scarica della boccia durava un poco, e intanto lo specchio faceva una piccola porzione di giro; ma le tre lineette vedevansi non rispondenti punto per punto l'una sopra dell'altra; quella di mezzo era alquanto trasposta nel verso per cui la direzione del giro le faceva movere tutte; se il verso era da destra a sinistra le tre immagini offrivano l'aspetto di queste tre linee ═══. Dunque le scintille estreme erano contemporanee e la media ritardava alcun poco. Si calcolò il ritardo e si trovò non arrivare a un milionesimo di secondo; dal che si dedusse che i due squilibri elettrici, prodotti da addizione di fluido all'un capo del filo e da sottrazione all'altro capo, si propagavano dai due capi alla parte media con una velocità di 460000 chilometri per secondo; è circa una volta e mezzo la velocità della luce. La durata della scarica, e per conseguenza delle scintille, si calcolò, per la lunghezza delle lineette, essere di circa $^1/_{24000}$ di secondo. Diremo poi di altri risultati sulla velocità dell'elettrico messo in movimento per altri modi.

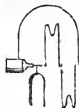



Fig. 271.

3.° Quando ad una scarica elettrica si offrono contemporaneamente più vie, l'elettrico passa per tutte in quantità proporzionali alle loro diverse conducibilità.

4.° Nel passare da un conduttore ad un altro l'elettrico trova una resistenza.

Le circostanze che possono influire sulla facoltà conduttrice di uno stesso corpo sono: l'umidità di questo, il calore, il precedente passaggio dell'elettrico, la disposizione delle molecole. L'umidità del corpo accresce la sua conducibilità; così il ca-

lore, salvo che nei metalli, così il precedente passaggio dell'elettrico. Un esempio della influenza della disposizione molecolare è questo che il diamante è coibente, ed il carbone è buon conduttore.

Il vuoto barometrico comune è un conduttore assai buono dell'elettricità, il vuoto perfetto pare isolante.

I gas in generale sono isolanti alla guisa dell'aria, e sembra che i più densi siano anche i più isolanti.

La fiamma di combustibili vegetali è assai conduttrice.

I corpi coibenti permettono anch'essi qualche diffusione della elettricità per la superficie loro, e tanto più quanto più forte è la tensione; perciò i sostegni isolanti non isolano in modo assoluto; trattengono nei corpi la virtù elettrica dove la tensione non superi un certo grado, ed adempiono questo ufficio tanto meglio quanto più sono lunghi e sottili.

L'aria permette pure che l'elettricità di cui è carico un corpo si disperda per essa lentamente e senza luce. Coulomb trovò che 1.° queste perdite sono in ragione diretta semplice delle tensioni, donde segue che al crescere del tempo in ragione aritmetica la carica del corpo diminuisce in ragione geometrica. 2.° Per più corpi diversi di natura chimica, di grandezza, di figura, ma a cariche eguali non molto forti, le perdite sono parti aliquote eguali delle cariche; vale a dire se uno di essi perde $1/80$ al minuto, anche gli altri tutti perdono $1/80$. A cariche forti i corpi più angolosi perdono di più. 3.° Le perdite crescono al crescere della umidità dell'aria. 4.° Crescono all'elevarsi della temperatura di essa. 5.° Sono favorite dalla agitazione dell'aria. 6.° Crescono al diminuire della densità dell'aria.

Il cavaliere Belli notò pel primo un'altra legge importantissima, ed è che nell'aria comune l'elettricità negativa si dissipa più prontamente che la positiva. Egli si assicurò che questa differenza non dipende già dall'essere l'atmosfera di solito elettrizzata, come vedremo, in più; anche in una camera, dove l'aria sia elettrizzata ad arte ora in più ora in meno, sempre l'elettricità negativa è più presta a dissiparsi che la positiva [1]. Dico importantissima la legge, perchè torna utile saperla nel discutere i risultati delle esperienze, e perchè può dare buon lume a conoscere la natura della elettricità.

402. *Moto dell'elettrico per emissione od assorbimento delle*

(1) *Biblioteca Italiana*, t. LXXXI, p. 189; LXXXV, p. 406; LXXXVI, p. 276. *Corso elem. di Fisica*, t. III, p. 542.

punte. La propagazione dell'elettrico per mezzo del potere emittente od assorbente delle punte è accompagnata nella oscurità dalle apparenze luminose del fiocco o della stelletta (§ 388). Anche in questa maniera di propagazione si verifica la legge suddetta del Prof. Belli. Egli trovò che nell'aria atmosferica l'assorbimento torna più facile che l'emissione, qualunque sia la sostanza delle punte; e così pure in altri mezzi, nell'acido carbonico, nell'ossigeno, nell'idrogeno, nel cloro, nell'azoto. La tensione necessaria all'emissione rapida e quella necessaria al rapido assorbimento nell'aria comune stanno press'a poco come 4 : 3.

403. *Moto dell' elettrico per scintille.* Credevano alcuni che la scintilla saltasse da un corpo elettrizzato quando la tendenza del fluido a sfuggire dal corpo giungesse a vincere la pressione meccanica dell'aria ambiente; ma un calcolo del Cav. Belli dimostrò che, nel punto che la scintilla salta, quella tendenza è 840 volte minore di questa pressione [1]. Vuolsi ammettere che si ha scintilla fra due corpi quando la tensione elettrica basta a vincere, non la pressione, ma la facoltà isolante dell'aria interposta.

La scintilla può cominciare anche dal corpo elettrizzato in meno, perchè le molecole d'aria prossime a questo possono cominciare a cedergli del loro elettrico, rifacendosi poi con l'elettrico delle altre che sono verso il corpo elettrizzato in più.

Vuolsi distinguere la *velocità* della scintilla e la *durata* di essa. La velocità della scintilla è la prestezza con che si avanz[illegible] nell'aria il suo capo; la durata è il tempo che si mantie[illegible] in luce ogni punto della sua via. Queste due condizioni fur[illegible] ricercate da Wheatstone con lo specchio girante (§ 400). [illegible] scintilla discenda verticale da un conduttore semplice [illegible] altro, e lo specchio giri pel verso che debba traslo[illegible] immagine in direzione orizzontale da destra a sinistra. [illegible] in che il capo della scintilla scende da quel conduttore [illegible] sarà mostrato da una obbliquità della immagine che [illegible] dalla verticale per trasferimento a sinistra della parte infi[illegible] e la durata della scintilla sarà mostrata da un allargam[illegible] di tutta la immagine. Wheatstone fece le osservazioni con [illegible] tille lunghe 4 pollici e con la velocità dello specchio [illegible] giri per minuto secondo: se il capo della scintilla ave[illegible]

(1) Belli. *Corso elem. di Fisica*. V. III, p. 558.

il tragitto in solo $\frac{1}{1152000}$ di secondo, ed anche la durata della scintilla fosse stata così breve, l'apparecchio avrebbe dovuto darne segno; ma non apparve nè obbliquità nè allargamento delle immagini. Quindi si calcola che la scintilla si avanzò nell'aria con una velocità maggiore di 60 miglia italiane al secondo. La scintilla è così veloce che non si può discernere dove la luce incominci e in che direzione si mova.

Nei buoni conduttori la scintilla suole scagliarsi fra quei punti ove il salto riesce più breve, perchè sono i punti ove le due elettricità contrarie si accumulano di più.

La lunghezza della scintilla, ossia la distanza esplosiva, è prossimamente in ragione diretta semplice della tensione.

Nell'aria più e più rara basta al salto della scintilla di certa lunghezza una tensione più e più piccola.

Belli riscontrò anche nel moto dell'elettrico per scintille essere più facile il moto della elettricità negativa che della positiva. Pel salto della scintilla fra due conduttori si esige, a parità d'altre circostanze, una tensione minore quand'ella prende origine dal corpo elettrizzato in meno che quando proviene da quello elettrizzato in più.

Le scintille brevi sono rettilinee, e le lunghe sono tortuose e con ramificazioni le quali si trovano sempre dirette verso il corpo negativo. Le tortuosità e le ramificazioni si formano probabilmente perchè l'aria, venendo condensata dinanzi alla scintilla, diventa ivi più coibente e resiste dippiù al moto della elettricità, onde questa piega ai lati dividendosi; e progredita [illegible] poco nelle nuove direzioni, trova un somigliante intoppo e [illegible]ga e si divide ancora, e così via.

[illegible] colore della scintilla è vario secondo la natura de' corpi [illegible] cui ella salta e dei mezzi che attraversa. Fra conduttori [illegible]ici e nell'atmosfera è di solito bianca, ma tendente al [illegible]olo se i conduttori sono d'ottone, all'azzurro se di zinco, [illegible] se di ferro rugginoso; è verde se esce dal rame, [illegible]nola se da un ovo caldo. La scintilla prende anche diverso [illegible]ore dalla natura de' corpi alla cui superficie trascorre. Una [illegible]ga scintilla sulla polvere di carbone ha un bel colore giallo, [illegible] acido solforico è rossa. Nell'aria a densità normale la scintilla [illegible] palle di ottone è quasi bianca; nell'aria meno densa è [illegible], nell'aria ancor meno densa è violacea; nell'acido [illegible] è pur bianca, nell'idrogeno rossiccia, nel vapore di [illegible] è verde.

Nell'aria rarefatta i tre diversi modi di trasmissione della elettricità (§ 400) si vanno ravvicinando e confondendo insieme, e si riducono ad una luce uniforme che invade e riempie lo spazio fra i due corpi. Serve a studiare gli effetti della densità dell'aria sulla trasmissione elettrica un elissoide di vetro (fig. 272) nel cui interno si può fare il vuoto pneumatico, e vi sono, lungo l'asse, due cilindretti (B, C) di ottone, che hanno l'una di contro all'altra le loro estremità foggiate a palla. Uno (B) di questi cilindretti può scorrere a tenuta d'aria nell'elissoide, cosicchè la distanza delle due palle può farsi diversa, e lo si applica per la sua appendice esterna alla macchina elettrica, mentre l'altro è, per la sua parte esterna, in comunicazione con la macchina pneumatica e quindi col suolo. In questo apparecchio, quando è fatto il vuoto, l'elettrico passa facilmente e senza strepito dall'una all'altra palla, mostrando nell'intervallo una luce violacea, continua, poco intensa; quando poi si lascia rientrare l'aria a poco a poco, cresce nell'elettrico la tensione necessaria al passaggio, la luce diventa [illegible] apparisce ch[illegible] da scoppio [illegible] tille.

404. *Eff*[illegible] *saggio della* [illegible] elettricità produce [illegible] effetti. Ecco i principali.

Effetti calorifici. Per la scarica [illegible] fili metallici, questi si scaldano, si a[illegible], si volatilizzano, e tutto con prodigiosa rapidità; [illegible] di seta dorati l'oro si volatilizza senza che il calor[illegible] di comunicarsi alla seta ed accenderla; dopo la scari[illegible] i fili di seta nudi ed illesi. Il passaggio dell'elettric[illegible] fluidi aeriformi e promove l'evaporazione dei liquidi[illegible]

Effetti meccanici. Una scintilla tratta da un coiben[illegible] ha forza di traforare un mazzo di fogli di carta; tut[illegible] lini si corrispondono in una stessa linea, ma sono pi[illegible] ne'fogli di mezzo, e ciascun forellino ha un orlo od una [illegible]ciatura sporgente da ambedue le facce,

Tra due spilloni metallici, che tengono le punte rivolte l'una verso l'altra a qualche distanza, sia collocato un foglio di carta parallelamente agli spilloni, cosicchè l'uno di questi sia da una parte del foglio, l'altro dall'altra. Se tra le due punte si fa saltare una scintilla elettrica, la carta ne viene forata; nell'aria comune il forellino è vicinissimo alla punta negativa; e se la prova si ripete nell'aria più e più rara, il forellino si discosta più e più da quella punta e si avvicina alla positiva. Tremery che fu il primo a notare il fatto ne dedusse che nell'aria comune l'elettricità positiva si propaga più facile che la negativa. La legge suddetta di Belli si oppone a questa deduzione.

La scintilla di una boccia di Leida o meglio di una batteria fora anche il vetro. Un conduttore (B, fig. 273) isolato ter-

Fig. 273.

[illegible] punta vicino ad una lastra di vetro (A) collocata per[illegible]rmente ad esso, e dall'altra parte del vetro un se[illegible]nduttore presenta la sua punta in faccia alla punta [illegible]o. Messo il secondo conduttore in comunicazione con [illegible]tura del coibente, si avvicina l'altra armatura al [illegible] la scintilla scocca, e la scarica attraversa il vetro fo[illegible]olo.

Una grossa scintilla che salti fra due metalli diversi, per esempio, tra un globo d'argento ed uno di rame, trasporta materia al tempo stesso da ciascheduno all'altro; dopo il salto si trova dentro il globo di rame una porzione d'argento, e dentro quello d'argento una porzione di rame. Fusinieri fece molti esperimenti sul trasporto della materia per le scintille elettriche, dai quali apparisce che una scintilla partita da un metallo tiene in sè di questo metallo, che nell'interno della scintilla è allo stato di fusione e ne' luoghi più esterni prossimi all'ossigeno dell'aria è in molecole ardenti. Di qui il colore diverso delle scintille cavate dai diversi metalli (§ 402). Se una scintilla che si spicca dall'argento passa per una lastra di rame, l'argento contenuto nella scintilla entra nel rame forandolo, e quando col mezzo dell' eccitatore si fa che il passaggio per la lastra sia obbliquo, l'argento vi percorre anche uno spazio di più centimetri; una parte dell'argento rimane imprigionata nel foro della lastra e una parte ne riesce per l'altra faccia ed entra nel globo dell'eccitatore. Nell'atto stesso vien trasportato del rame nell'argento; sempre una scintilla opera il trasporto dalle due bande. E i metalli trasportati fanno due forti percussioni sui due corpi nelle parti che mandano e ricevono la scintilla; ciò è dimostrato da due cavità che ivi si formano con entro del metallo trasportato.

In generale i guasti maggiori prodotti dall'elettrico sono in que'corpi che resistono di più al suo cammino.

Effetti chimici. Il passaggio dell'elettrico promove combinazioni e decomposizioni. Due gas che si trovino mescolati pressoso a poco in una proporzione in cui si possano combinare, si combinano in effetto per una sola scintilla che vi salti; ma se trovansi mescolati in proporzione molto diversa di quella, ci vuole una lunga serie di scintille a fare una poca di combinazione. Priestley aveva notato che l'aria contenuta in un vase per dove passino molte scintille diminuisce di volume ed ar[illegible] rossa la tintura di tornasole. Cavendish verificò che vi si pro[illegible] duce dell'acido azotico per combinazione dell'ossigeno [illegible] l'azoto dell'aria.

Le scintille elettriche ripetute alterano molti gas com[illegible] L'idrogeno carbonato, l'acido solfidrico, l'ammoniaca n[illegible] gono decomposti compiutamente; l'acido carbonico ne[illegible] decomposto parzialmente, si risolve in ossigeno ed o[illegible] carbonio.

La *pistola di Volta* è una boccia di vetro be[illegible]

fianchi sono attraversati da due cilindretti metallici che portano i capi interni l'uno in faccia dell'altro a breve distanza, ed hanno i capi esterni foggiati a sferuzza. Vi si mette una miscela di due volumi di idrogeno e di un volume di ossigeno (giusta proporzione in cui i due gas combinandosi fanno l'acqua), e se ne chiude la bocca con un turacciolo. Impugnata la boccia in guisa che la sfera di un cilindretto stia nella mano, si avvicina la sfera dell'altro al conduttore della macchina elettrica o allo scudo carico dell'elettroforo a ricevere una scintilla. Allora salta una scintilla anche fra i due capi interni dei cilindretti, e questa induce i due gas a combinarsi formando del vapor acqueo; ma nell'atto della combinazione si svolge una grande quantità di calorico, onde il vapor acqueo che si produce acquista molta forza espansiva e lancia con fragore il turacciolo.

L'*eudiometro* (εὐδία aria buona), che serve a misurare l'ossigeno contenuto in un certo volume d'aria, è nella sua più semplice struttura un tubo di robusto vetro, chiuso a un capo, aperto all'altro; il capo chiuso è attraversato da un cilindretto di metallo che termina in due sferette, l'una esterna (*m*, fig. 274),

Fig. 274.

[illegible]ra interna (*n*); presso l'interna v'è un'altra sferetta [illegible](*a*), da cui parte un filo metallico a spira che va fino [illegible]aperto del tubo.

[illegible] l'ossigeno dell'aria così. Empiuto d'acqua l'eudio-

metro lo si immerge col capo aperto in un bagno d'acqua e vi si mandano dentro per un imbuto 100 unità in volume di aria e altrettante di idrogeno, misurate prima con diligenza in un tubo graduato. Poi si chiude l'eudiometro col pollice, mettendo questo a contatto col filo a spira interno. Si dà alla sferetta esterna (m) una scintilla con la macchina elettrica o con lo scudo (A) dell'elettroforo; la scintilla salta anche tra le due sferette interne (n, n) e fa che l'idrogeno combinandosi con l'ossigeno dell'aria produca dell'acqua; la combinazione è accompagnata da luce. Si misura il gas rimasto nello strumento, e si trova che è 137 unità; dunque le unità che si composero insieme a fare l'acqua sono 63, e siccome l'acqua è composta di due volumi d'idrogeno ed uno d'ossigeno, così un terzo dell'acqua risultante, ossia 21 di queste 63 unità sono di ossigeno. Si verifica poi che nella miscela residua l'ossigeno manca affatto. Quindi si vede che l'aria in 100 unità di volume ne contiene 21 d'ossigeno.

L'eudiometro può servire similmente ad altre ricerche analitiche nelle miscele dei gas.

Effetti negli animali. Per le scintille elettriche gli animali provano punture e scosse. Le scosse risentonsi principalmente nelle giunture, forse perchè ivi la conducibilità è minore. Le scariche elettriche forti possono recare agli animali gravissime lesioni, ed anche la morte.

405. *Diverse maniere di promovere lo stato elettrico nei corpi.* I modi fin qui considerati di produrre lo stato elettrico nei corpi sono:

1.° Lo *sfregamento*.

2.° L'*induzione*.

Se ne conoscono più altri, di alcuni dei quali diremo in seguito distesamente; giova intanto di accennarli tutti; eccoli.

3.° La *pressione*. In un corpo che venga compresso, e però condensato in alcune sue parti, si fa tosto palese una cert[illegible] dose di elettrico che dà segni all'elettroscopio. Lo spato ca[illegible] care premuto un poco fra le dita si elettrizza fortemente in pi[illegible] Due corpi diversi, fosse pur solo per un divario di temperat[illegible] compressi l'un contro l'altro e poi separati rapidamente, si [illegible] vano elettrizzati l'uno in più l'altro in meno, e tanto m[illegible] quanto più forte è la compressione. Se i corpi che si co[illegible] mono son conduttori bisogna tenerli con manichi isolant[illegible] chè lo stato elettrico vi duri.

4.° La *separazione meccanica* dei corpi aderenti [illegible]

parti di un medesimo corpo. Le parti di un cristallo che si disgiungano prestamente l'una dall'altra secondo i piani di clivaggio danno a vedere nella oscurità una debole luce, e mostrano anche l' attrazione elettrica. Lo zucchero quando si frange nella oscurità mostra una luce che pare sia di natura elettrica.

5.° Il *contatto* di due corpi che differiscano tra loro per qualità chimiche o fisiche.

6.° L'*azione chimica.* In ogni processo chimico, sia di combinazione o di decomposizione, v'è svolgimento di elettrico. Nella combustione il combustibile si elettrizza in un modo e il corpo che mantiene la combustione e il prodotto di questa si elettrizzano nell'altro modo. Se bruciasi del carbone che comunichi col piatto collettore di un elettroscopio si vede che prende l' elettricità negativa; se invece si dirige sul collettore il gas acido carbonico prodotto, vi si trova l' elettricità positiva. In generale l' ossigeno, quando si combina con altre sostanze, si elettrizza in più. Nelle decomposizioni avvengono fenomeni somiglianti. Anche il solo separarsi di un solvente dalla sostanza disciolta importa uno squilibrio elettrico. L'acqua che evapora separandosi da sostanze acide o saline lascia queste elettrizzate in meno e si solleva elettrizzata in più. L'evaporazione dell'acqua pura non produce squilibrio elettrico.

7.° Il *movimento del calore.* Una particella di materia che si riscaldi ricevendo calorico da una particella vicina, si elettrizza in più, mentre questa che cede il calorico si elettrizza in meno.

8.° Il *processo vitale* sì dei vegetabili che degli animali.

Non è certo che questi otto modi siano sostanzialmente diversi; è anzi probabile che alcuni di essi dipendano l'un dall'altro o da un medesimo principio più generale.

406. *Elettricità dell'atmosfera e delle nubi.* Nei tempi sereni l'atmosfera ha una debole elettricità positiva, ed il suolo [illegible]na debole elettricità negativa, meglio sensibile nei luoghi e [illegible]i corpi prominenti e liberi che nei bassi ed incavati. Nei [illegible]pi nuvolosi l' elettrico dell'atmosfera e delle nubi è varia[illegible] sì di forza come di specie; nei temporali poi variabilis[illegible], e sorge talvolta a molta intensità.

[illegible]li apparecchi per esplorare lo stato elettrico dell' aria e [illegible]nubi sono diversi: o fissi, o portatili. Tutti consistono es[illegible]lmente in un elettrometro e in una parte accomodata a [illegible]gli l' elettrico.

I fissi sono fatti di un' asta di metallo puntuta, eretta in alto della casa, sopra sostegno isolante, dalla quale un filo metallico pur isolato discende fino all' osservatore. L' elettricità dell'aria o delle nubi sovrastanti all'apparecchio vi desta le due elettricità indotta ed attuata: questa, che si esplora alla estremità inferiore, mostra insieme e la forza e la specie della elettricità inducente. Vuolsi tener sempre lì vicino alla estremità inferiore il capo di un filo metallico (filo di salute) che abbia l'altro capo in comunicazione colla umidità sotterranea, giacchè il fulmine, che vedremo essere una grossa scintilla elettrica, può discendere per l' apparecchio, e quindi, se manca il filo di salute, saltare sull'osservatore. Così fu la morte di Richmann professore a Pietroburgo.

I portatili si fanno di più maniere. Si può condurre l' elettricità attuata, all' elettrometro, per via del cordoncino di un cervo volante sospeso nell'aria. Si può condurvela per un cordoncino lungo da 10 a 20 metri che ad una estremità si attenga mediante molla al capello dell' elettrometro e all' altra estremità porti una palla di piombo di 3 o 4 oncie. Pigliato nella sinistra mano l' elettrometro, si lancia in alto con la destra la palla; il cordoncino, per la trazione, stacca la molla dallo stromento lasciandovi dell' elettricità attuata omologa a quella dell' atmosfera. Nei temporali non vuolsi tenere l' elettrometro in mano, vuolsi collocarlo a distanza perchè il cordoncino può dar via al fulmine. Si può condurre l' elettricità all' elettrometro per una lunga asta metallica infissavi che porti in alto una candelina accesa. La fiamma serve qui ad ingrandire i segni elettrici e il modo è questo: ella, com' è conduttrice, forma coll'asta un sistema conduttore unito, la cui parte inferiore si elettrizza omologamente all' atmosfera, la superior[illegible] contrariamente. Se l'atmosfera è elettrizzata in più la mater[illegible] della fiamma fugge via di continuo con la elettricità negativ[illegible] indottavi, ed altra materia simile sottentra di continuo che [illegible] l'induzione manda del suo fluido naturale alla parte inferi[illegible] dell'asta e all'elettrometro, afforzandovi l'elettricità attuata [illegible] così di seguito fino a che l'asta si trovi elettrizzata in più [illegible] tutta la sua lunghezza. Per queste successive addizioni di [illegible] trico all' istrumento i segni di questo crescono e toccano [illegible] al triplo di quel che sarebbero senza la fiamma. Se l' [illegible] sfera è elettrizzata in meno la materia della fiamma [illegible] elettrizzata in più per fluido tolto all' asta e all' elettr[illegible] onde crescono i segni negativi.

L' elettricità positiva dell'atmosfera a ciel sereno è più forte ne' luoghi più isolati, e cresce con l'altezza sopra il suolo. In aperta campagna comincia ad essere sensibile solo all' altezza di $1^m,50$; nelle case, nelle contrade, sotto gli alberi manca; dentro le città se ne ha segno soltanto nelle grandi piazze; sulle strade che fiancheggiano i fiumi, e sui ponti. In generale nella state è assai più debole che nell' inverno. I venti la diminuiscono perchè rimescolano gli strati d'aria e li portano a lambire la superficie terrestre e a deporvi l' elettrico.

Nei giorni perfettamente sereni l'elettricità positiva dell'aria mostra un regolare periodo giornaliero; si rinforza due volte nelle 24 ore del giorno e due volte s' indebolisce. Nell' inverno i segni sono massimi qualche ora dopo il nascere e qualche ora dopo il tramontare del sole, minimi un po' prima del nascere e del tramontare. Nella state il massimo diurno è dopo mezzodì, ed il massimo notturno è poco rilevato. Le variazioni di conducibilità dello strato d'aria nostro nel corso della giornata, dipendenti dalle variazioni igrometriche, pare che bastino a rendere conto di codesto periodo.

L'opinione più ricevuta circa l'origine della elettricità atmosferica si è che questa elettricità derivi dall'acqua che evapora separandosi da sostanze acide o saline, la quale si solleva elettrizzata in più (§ 404), e che vi influiscano alquanto anche i vegetabili che continuamente assorbono ed emettono sostanze aeriformi nei chimici processi di loro vita. Sembra poi che codesta elettricità sia portata in alto dall'aria che ascende dopo riscaldatasi in contatto del suolo, e che, giunta alle altezze ove l'atmosfera è rarissima e molto conduttrice, si diffonda prontamente per estesi spazi.

In generale nei tempi nuvolosi trovansi nell'atmosfera nubi [illegible]lettrizzate in più e nubi elettrizzate in meno, con cariche di[illegible]verse, che ne' temporali sono assai grandi. Franklin nel 1749 [illegible]ubblicò una memoria sul modo di verificare se le nubi tem[illegible]ralesche sono elettrizzate. Egli proponeva a tal fine l'appa[illegible]cchio dell'asta col conduttore, e si riserbava di fare la prova [illegible]ando fosse compiuta la fabbrica di un campanile a Filadelfia, [illegible] quale intendeva di mettere l'asta. Intanto il francese Dali[illegible] pose in atto il pensiero di Franklin. In un giardino a [illegible] presso Parigi eresse una spranga acuta di ferro, isolata [illegible]zza di 33^m, e il 10 maggio 1752 sotto l' influenza di [illegible]be temporalesca ebbe alla estremità del conduttore grosse [illegible]lettriche, e ne caricò parecchie bottiglie di Leida. Fran-

klin che non sapeva questo fatto, ed era impaziente di verificare la cosa, al sopravvenire di un temporale si recò con suo figlio in un campo vicino a Filadelfia, costruì un cervo volante con un fazzoletto di seta disposto sopra due bastoncelli annodati in croce, e con una lunga cordicella di canape. Mandato il cervo in alto, attaccò una chiave all'estremità inferiore della fune, ed alla chiave un cordone di seta per isolare l'apparecchio, ed il cordone ad un albero. Presentò la nocca del dito alla chiave; nessuna scintilla; ma quando una pioggia leggera, bagnata la fune, l'ebbe resa meglio conduttrice, vide moversi alcune sfilacciature della fune, e allora accostata la nocca alla chiave, la scintilla sospirata scoccò. Franklin ne fu tanto commosso che pianse. Ripetè poi le esperienze ed ottenne fenomeni elettrici grandiosi; una volta balzarono dalla fune ad un conduttore scintille lunghe 10 piedi e grosse un pollice con uno scoppio simile a colpo di pistola.

È probabile che molta parte della elettricità temporalesca sia generata dallo sfregamento delle gocce d'acqua cadenti da grande altezza contro l'aria ch'esse traversano.

Intorno alla carica elettrica delle nubi sono ovvie tre domande. 1.° Se l'elettricità ordinaria dell'atmosfera è positiva, come possono darsi delle nubi elettrizzate in meno? Una nube che sia a contatto del suolo e sia soggetta all'influenza di un'altra nube elettrizzata in più, si elettrizza negativamente per induzione, e quando pel vento o per la sua leggerezza si distacca dal suolo rimane elettrizzata in difetto. 2.° Come può l'elettricità in una nube toccare a quell'alto segno di tensione che vediamo? Pare che nel condensarsi della nube venga a raccogliersi nella superficie di essa l'elettricità sparsa dapprima su ogni bollicina di vapore. 3.° Perchè l'elettricità di una nube non ne respinge effettivamente le parti, e la nube non si dissolve? E' convien dire che vi abbiano stati elettric[illegible] contrarii o nelle nubi o nel suolo che dissimulino quelle grand[illegible] cariche.

407. *Folgori. Tuoni. Lampi.* Si dice *folgore* o *saetta* [illegible] sottile, tortuosa e lucentissima lista che nei temporali at[illegible] versa un grande tratto di atmosfera e che è sempre susseg[illegible] da un lungo rumoreggiare, il *tuono;* riceve anche nome di [illegible] *mine* quando colpisce qualche oggetto terrestre; è dive[illegible] *lampo* o *baleno*, ampio chiarore che illumina in sil[illegible] uniformemente le nubi. Wheatstone con la sua ruot[illegible] (§ 237) dimostrò che le folgori e i lampi non du[illegible] lesima parte di un minuto secondo.

La folgore è una grossa scintilla con cui una grandissima copia di elettrico trapassa o da una nube all'altra, o da una nube al terreno (fulmine discendente), o dal terreno ad una nube (fulmine ascendente). Che sia così lo provano. 1.° Lo stato delle nubi, giacchè queste nei temporali offrono segni vivissimi di elettricità, le une positiva le altre negativa, onde sono capaci di dare e di ricevere di siffatte scintille. E v'ha dippiù; ad ogni scoppio di folgore lo stato elettrico delle nubi soffre un brusco cangiamento che prova aver esse in quell'atto o perduto od acquistato una grande quantità di elettrico. 2.° L'aspetto e i modi che tiene la folgore; e sono la qualità di sua luce, la forma tortuosa ed angolosa come di lunga scintilla, la grandissima velocità, lo scagliarsi ai corpi più eminenti e meglio conduttori dell'elettrico. 3.° Gli effetti: la fusione e il disperdimento dei metalli, lo spezzamento de' corpi meno conduttori, le combustioni, le uccisioni, l'odore sulfureo; tutti quegli effetti in somma che dal piccolo al grande si ottengono anche con la elettricità delle macchine.

D'ordinario ad ogni guizzo di lampo la pioggia si rinforza; ciò fa pensare che l'elettricità delle nubi sorga a quell'alto segno di tensione per cui scoppia la folgore, solo nel momento che il vapor acqueo si condensa in gocce.

Il fulmine è talvolta preceduto da un fischio acuto come di vento, dalla cima degli alberi e degli altri corpi aguzzi. Pare che il sibilo provenga da un assorbimento o da una emissione di elettrico per quelle cime; assorbimento od emissione che comincino lenti, ma poi, diventata l'aria meglio conduttrice, si facciano più celeri e si mutino in folgore.

La folgore è lunga spesso parecchie miglia: qualche fiata si divide in più rami distinti. Il fulmine batte sempre la via meglio conduttrice che trova, perciò se scoppia varie volte in uno stesso luogo tiene d'ordinario il medesimo cammino, colpisce i medesimi corpi, fa i medesimi guasti. Suole colpire i cocuzzoli elle montagne, le torri più elevate, i campanili, le aguglie, fumajoli, le piante più alte, gli alberi delle navi; ne sono muni le case più basse, le umili capanne, le caverne, i sotranei. Le case in luoghi umidi sono più esposte che quelle luogo asciutto. Il fulmine preferisce di correre pei metalli corpi umidi; così nelle case vediamo che si appiglia ai metallici, ai fili dei campanelli, ai chiodi, alle dorature, ncanza di metalli, ai corpi umidi e principalmente ai ni. Quando colpisce le piante suol passare tra il le-

gno e la corteccia che è la via più umida e più conduttrice, stacca e scaglia lontano liste di corteccia. Gli animali ne vengono alle volte uccisi all'istante o assai malconci; è sì rapido il colpo che molte delle persone che ne morirono rimasero in quegli atteggiamenti in che furono percosse, e molte delle persone riavutesi non si rammentarono poi nè di luce nè di rumore. Tal fiata la morte è solo apparente, ma ci vogliono pronti soccorsi perchè non diventi reale; e i soccorsi sono le fregagioni, le scottature, le scosse elettriche.

Qualche volta l'elettricità fulminea prende forma di un globo di fuoco, il quale dalle nubi discende al suolo con moto così lento che l'occhio lo segue per più secondi. Il globo giunto a toccare il suolo rimbalza, o si rompe e scoppia col fragore di più cannonate. Pochi anni sono, a Parigi, fu veduto uno di questi globi entrare per la finestra in una camera lentissimamente, e girarvi a suo grand'agio, poi salire la canna del cammino; giunto in cima scoppiò lanciando in minuzzoli il fumajolo. La persona ch'era nella camera disse che il globo rendeva immagine di un piccolo gatto bianco aggomitolato. Come avviene che tanta forza se ne sta raccolta in sì breve spazio nel mezzo dell'aria?

Dei parafulmini diremo nell'ultima parte. Ecco ora alcune cautele che la scienza suggerisce a preservarsi dal fulmine. Colti da temporale in campagna, non vuolsi cercar ricovero sotto gli alberi; sono già troppi gli esempi di persone miseramente perite sotto que' mal sicuri asili; l'elettrico fulmineo che scende per l'albero, quando arriva all'altezza della persona salta su di essa perchè il corpo animale è più conduttore del vegetale. E non è bene starsene ritto in piedi in mezzo all'aperta campagna a molta distanza dagli alberi e fare del proprio corpo una prominenza del suolo. Giova collocarsi a 7 o 10 metri dal tronco di un albero, e almeno a 3 o 5 metri fuori della projezione dei rami, ed è migliore partito sdrajarsi a terra. Se [illegible] troviamo in una casa non munita di parafulmini conviene star[illegible] lontani dalle ferriate, dagli specchi, dalle dorature, da tutti [illegible] pezzi metallici, ed anche dai cammini per dove può il ful[illegible]mine discendere, atteso l'elevazione dei fumajoli e il calor[illegible] fumo che s'alza. Conviene collocarsi in mezzo la camer[illegible] duti sur una scranna e coi piedi sopra un'altra.

Il *tuono* è lo strepito prodotto nell'aria dal pass[illegible] folgore. Arriva subito all'orecchio quando la folgor[illegible] vicino, ed arriva più o men tardi secondo la di[illegible]

vuole la propagazione del suono. Se la folgore guizza un attimo, perchè il tuono dura poi qualche tempo? Per due ragioni. 1.° La via della folgore è lunga, e sebbene sia tutta percorsa in un istante, il suono arriva a noi più presto dai punti vicini della via e più tardi dai punti lontani, d'onde una durata del tuono. 2.° Le nubi facendo eco prolungano ancora questa durata; del che è prova il fatto che lo sparo di un cannone a ciel sereno dà un romore istantaneo, e a ciel nuvoloso dà un romore con molte ripercussioni. Il tuono non va indebolendosi poco a poco; ma tratto tratto si rinforza quasi per separati rimbombi; ciò dipende dalla giacitura della linea descritta dalla folgore, e dalla disposizione delle nubi riflettenti il suono; l'orecchio ode suono più forte in quegli istanti che riceve suono da un maggior numero di punti della linea e delle nubi.

I *lampi*, o baleni, si reputa che siano saette celate dentro le nubi, e più ampie delle altre saette, e non accompagnate da tuono, forse per la rarezza dell' aria là dove si formano, e che appariscano ancora più ampie per la illuminazione delle nubi circostanti.

I lampi che sovente guizzano le sere d'estate presso l'orizzonte senza che appariscano nubi e si odano tuoni, e che si chiamano *lampi di calore*, sono molte volte folgori ordinarie o lampi di un temporale assai lontano, le cui nubi non si vedono perchè celate dalla irregolarità del suolo o dall' aria fosca prossima alla terra o dalla convessità del globo; folgori e lampi che illuminano ampiamente l'aria superiore visibile a noi. Tale spiegazione già proposta da alcuni antichi ebbe conferma da osservazioni recenti. Ma qualche volta codesti lampi hanno altra origine; sono forse prodotti dal trascorrimento al basso di una parte dell' elettrico accumulato nelle alte regioni atmosferiche.

Nelle eruzioni vulcaniche si hanno spesso e folgori e lampi [illegible] tuoni. I nuvoloni di finissima sabbia che escono dal Vesuvio [illegible]ffrono tal fiata un magnifico spettacolo per molte saette a zic-zac che si lanciano dai loro orli verso l'aria o da questa verso [illegible]li orli, i quali sono così fregiati di vivissime strisce di fuoco [illegible]bili. L' elettrico si genera qui dallo sfregamento delle ma[illegible]ruttate, o c' è anche una discesa di elettrico dall' alto [illegible]sfera per la via conduttrice del getto?

[illegible]*traccolpo elettrico.* Ecco un fatto che spesso accade [illegible]ali. Sia non molto alta da terra una nube elettriz[illegible]te in più: il suolo sottoposto si trova elettrizzato

in meno per induzione. Ora, se avviene che la nube si scarichi della sua elettricità mandandola a qualche luogo lontano, sia ad altra nube sia al terreno, rifluisce in quella parte di suolo il fluido elettrico mancante; e se la scarica della nube è istantanea, quale nei fulmini, rifluisce con grandissima velocità passando per i corpi meglio conduttori, i quali, dove siano corpi animali, possono riceverne scosse fortissime ed anche funeste, come quando passasse per un corpo umano tutto l' elettrico di cui difettava un grande fabbricato. Tale riflusso dell' elettricità si chiama *contraccolpo elettrico*.

Per una nube elettrizzata in meno il suolo sottoposto si elettrizza in più; questa elettricità indotta rifluisce poi nel terreno quando la nube riacquista l'elettrico suo, e gli effetti sono gli stessi.

409. ***Fuoco di Sant'Elmo.*** **Un altro fenomeno della elettricità temporalesca è il così detto *fuoco di Sant'Elmo.* In un baluardo del castello di Duino, in riva al golfo di Trieste, era piantata ancora verso la metà del secolo scorso un'asta di legno terminata in una punta di ferro, su cui nella state, quando si avvicinava a quel luogo un temporale, apparivano scintille, e poi una fiammella. A tal vista il soldato ivi di guardia osservava se la fiammella crescesse, e se al mettere là un'altra picca sorgesse una fiammella anche su questa. A tali segni si suonava** una campana, al cui tocco i contadini sparsi per la montagna e i pescatori del vicino golfo si raccoglievano in salvo, essendo quasi certa una burrasca. La pratica era antichissima; gli abitanti non ne sapevano l'origine. Furono piantate tre altre picche simili agli altri angoli del castello, e [illegible] trovò che cominciava a scintillare e fiammeggiare quella del[illegible] quattro dal cui lato avvicinavasi il temporale; e così il te[illegible]porale si poteva presagire più di un quarto d'ora innanzi [illegible] anche un'ora. La luce vedevasi non solo di notte ma anch[illegible] giorno, e qualche volta chi alzava le mani con le dita ap[illegible] vedeva sprizzare dalle punte di queste de' bellissimi pennac[illegible] Qui le scintille sono un principio del fiocco elettrico (§ [illegible] e la fiammella è un fiocco continuato od una stelletta.

Molti sono gli esempi di fuochi siffatti. Gli antichi sc[illegible] narrano che le picche di intiere legioni di soldati ma[illegible] fiammelle. In mare il fenomeno è assai frequente: u[illegible] mella apparisce al sommo ora di un albero della [illegible] di un altro, onde pare che sia una medesima fiam[illegible] passi dall'uno all'altro. Gli Antichi se vedevano un[illegible]

sola davanle nome di Elena, ed era mal augurio; se due, le chiamavano Castore e Polluce, ed era segno propizio.

410. *Scoperta della elettricità voltiana.* Verso la fine del secolo scorso (anno 1789) Luigi Galvani, professore di anatomia nell'Università di Bologna, osservò che mettendo in comunicazione tra di loro un nervo ed un muscolo d'una rana morta, mediante due lame metalliche, una delle quali tocchi il nervo l'altra il muscolo, le membra della rana si agitano forte (fig. 275). Galvani, preoccupata la mente dall'ipotesi di un

Fig. 275.

luido vitale, non tardò a dare di questo maraviglioso fenoeno una spiegazione conforme alle sue idee. Nella spiegane dei fenomeni nuovi ci è sempre di guida l'analogia che hanno con altri fenomeni già noti; l'analogia che guidò lvani fu quella che il fenomeno osservato ha colle scosse che icevono dalle boccie di Leida. Egli immaginò che un fluido ale custodito nei nervi si scarichi sui muscoli per la via lica di comunicazione e li scuota. E a dare forma intera concetto pensò che il cervello sia l'organo dove il fluido gregato ed elaborato; i nervi lo distribuiscano per envarie parti del corpo, e propriamente la sostanza mii nervi ne sia la conduttrice, e le sostanze untuose dano i nervi, essendo coibenti, ne impediscano la di-

spersione; il fluido rinchiuso nei nervi induca all'esterno nei muscoli una carica contraria, appunto come nelle boccie di Leida; talchè, facendo comunicare i nervi coi muscoli, si effettui la scarica che produce le contrazioni muscolari. La spiegazione è seducente, fu accolta con entusiasmo, e il nuovo fluido ebbe nome di *fluido galvanico* in onore dello scopritore.

Venne avvertita ben tosto una somiglianza tra il fluido elettrico ed il galvanico, ed è che i corpi i quali prestano la via all'uno (conduttori elettrici) la prestano pure all'altro, e quelli che la negano all'uno (coibenti elettrici) la negano pure all'altro; poichè si vide che il fenomeno di Galvani avviene quando le lame sono conduttrici dell'elettrico e non avviene quando sono coibenti dell'elettrico. Per questa parità alcuni cominciarono a sospettare che il fluido galvanico e l'elettrico fossero una cosa sola.

Ma piaceva pure ai più di credere che i corpi viventi siano dotati di un fluido, elettricità od altro qualunque, e che somiglino ad una boccia di Leida, di cui i nervi costituiscano l'armatura interna, i muscoli l'esterna. Dappertutto era una gara di ripetere, di variare gli esperimenti. Il fenomeno destava maraviglia per sè stesso; ma la dotta curiosità dei sapienti erasi infiammata nella speranza di aver colto nei corpi animati il fisico agente che riferisce le esterne impressioni al cervello e subordina gli organi alla volontà, inducendo il moto delle braccia, delle gambe, del capo. Si sperava di aver afferrato il principio della vita, e di poter imbrandire un'arma contro la morte. Già si mettevano in campo sottili spiegazioni dei fenomeni vitali e del magistero dell'organismo, e gli spiriti migliori si la-
sciavano adescare. Chi sa quante false vie l'ingegno avreb-
corse, quanta attività sprecata! La scienza, sbagliata direzio-
correva lungi dal vero, ma un uomo di genio l'arrestò. Q-
st'uomo fu Volta.

Volta da Como, professore di fisica nell'Università di P-
e già in fama per molte belle scoperte nel dominio della
tricità, ripeteva le esperienze di Galvani con quell'ansi-
vida insieme e diligente che è il segreto d'ogni grandezza
di ammirazione per i fatti egli concedeva un assenso
nale alle ipotesi, e intanto cercava per minuto le par-
dei fenomeni. Fissò l'attenzione su questa circostanza c-
la via conduttrice dai nervi ai muscoli è di pezzi di
metallo, non si hanno le contrazioni della rana, e
via è di due diversi metalli si hanno vivissime. L-

dei metalli doveva dunque entrare per qualche cosa nella spiegazione del fatto; l'ipotesi di Galvani, la quale non tiene conto alcuno di questa differenza, non si appone al vero. Così Volta fu condotto ad opinare che il fluido che scuote la rana non trovasi nei nervi o nei muscoli, ma trovasi nei due metalli, e si mette in moto all'istante del loro mutuo contatto, appunto in virtù della differente natura di essi, e non è altro che fluido elettrico. Secondo l'opinione di Volta la rana non è somigliante ad una boccia di Leida carica, ma è semplicemente un elettroscopio sensibilissimo. A combattere poi l'ipotesi di Galvani e guadagnar fede alla propria opinione Volta eccitò le convulsioni, non già disponendo i due metalli da un muscolo ad un nervo, come l'ipotesi voleva, ma toccando con entrambi soltanto un muscolo.

Tra la scuola di Bologna e Volta fu una lotta vivissima e bella di nuove scoperte che resero più illustre la gloria del vincitore ed acquistarono lode al valore dei vinti. Una delle molte obbiezioni che furono mosse alla opinione di Volta tenne un poco in sospeso gli animi, e fu il fatto delle convulsioni eccitate nella rana da Galvani con due lame non differenti ma di uno stesso metallo. Rispose il Volta che lame di natura chimica uguale possono tuttavia differire per altri riguardi in guisa da avere proprietà diverse. Ed in prova egli mostrò come due lame inattive, fatte di due porzioni contigue d'uno stesso pezzo metallico, diventano attive sol che si cangi la temperatura, il grado di cottura od il pulimento di una sola. Dunque l'opposizione non abbattè il principio di Volta ma lo ampliò, inse[illegible]gnando che per questo genere di fatti l'epiteto *differente* appli[illegible]to ai due metalli vuolsi intendere in senso latissimo e non [illegible] senso strettamente chimico.

[illegible]Ebbe il Volta a sostenere un ultimo ed aspro attacco, tale [illegible] i suoi stessi fautori disperavano della vittoria. Il dottor [illegible]lli ottenne i moti convulsivi della rana mettendo a mutuo [illegible]atto due parti di essa, senza far uso dei metalli che se[illegible] Volta somministrano il fluido eccitatore. Le lettere di [illegible] lasciano trasparire in più luoghi quanto grave gli fosse [illegible]uono di sicurezza con che (sono sue parole) i Galvani[illegible]ani e vecchi si vantavano di averlo ridotto al silenzio. [illegible]o non ebbe lunga durata. Un diligente esame delle [illegible] di Valli fece accorto il Volta che per la loro riu[illegible]levano queste due condizioni: che gli organi por[illegible]o contatto fossero di natura molto diversa, per

esempio, nervo e muscolo, e che a qualche distanza dalle parti che si toccano si trovasse interposta ad essi una terza sostanza, per esempio, il sangue, o qualche altro umore viscido o salino, a compiere il circuito. Volta ne conchiuse che il nuovo fenomeno, anzichè nuocere al principio da lui proferito, lo generalizza; si svolge elettrico non solo dai metalli differenti a mutuo contatto, ma se ne svolge dai corpi eterogenei di qualsivoglia natura, dai nervi, dai muscoli e da tutti gli altri.

Così cadde l'ipotesi galvanica, e Volta seppe fare suo prò delle osservazioni addotte a sostenerla. Ma pure si domandava: questo agente che si desta nel contatto delle sostanze diverse è veramente l'elettricità? Se due lame diverse di metallo si applicano alla lingua, l'una al di sopra l'altra al di sotto, e mentre sono così applicate si ravvicinano fuori della bocca finchè si toccano in qualche parte, comincia a farsi sentire nell'istante del loro mutuo contatto un sapore acido; se invertesi la disposizione delle lame il sapore si cambia, e diventa alcalino. Questa esperienza è accennata dove meno si aspetterebbe, in un libro di estetica di Sulzer pubblicato alcuni anni prima delle osservazioni di Galvani. Se si applica la lingua al conduttore della macchina elettrica si prova pure quel sapore acido od alcalino secondochè il conduttore è elettrizzato in più o in meno. Qui il fenomeno è dovuto incontestabilmente alla elettricità. Ora non è egli ragionevole, diceva il Volta, di ravvicinare il primo al secondo esperimento e, stante la uguaglianza degli effetti, non vedervi che una sola differenza, cioè quella circa il modo di svolgere il fluido che eccita l'organo del gusto? Non si poteva negar valore a questo ravvicinamento, ma pure si desiderava una prova meglio esplicita della natura elettrica della forza che si desta nel contatto delle sostanze diverse. Volta non era uomo da non offrirla. Eccola. Si abbiano du[illegible] dischi, l'uno di rame l'altro di zinco, muniti di manico isolante; si facciano combaciare insieme, poi si disgiungano [illegible] un tratto; si trova che il disco di zinco è elettrizzato in [illegible] quello di rame in meno. Tale stato elettrico si rende [illegible] bile al condensatore col ripetere più volte la detta operazi[illegible] e toccare ad ogni volta il condensatore col medesimo [illegible] è però necessario che il piatto collettore sia della m[illegible] sostanza del disco che si esplora.

411. *Forza elettromotrice: suoi caratteri.* Volta dun[illegible] nunciò quale causa prossima dei fenomeni di Galv[illegible]

fatto: Due sostanze conduttrici, differenti per qualità chimiche o fisiche, quando vengono a mutuo contatto si elettrizzano, l'una in più l'altra in meno. E a spiegare il fatto egli immaginò che si svolga, in quell'istante e in quel luogo del contatto, una forza che spinga in una delle sostanze porzione dell' elettrico proprio dell'altra, costituendole così entrambe elettrizzate in opposto senso. Diede a questa forza l' epiteto di *elettromotrice*, e con la scorta della esperienza riconobbe in essa i seguenti caratteri:

1.° È prontissima e continua, perchè in un attimo porta la differenza delle tensioni al valore ch' essa deve avere, e la mantiene sempre a quel valore.

2.° È diversa per coppie diverse di corpi, perchè la differenza delle tensioni varia al variare delle sostanze accoppiate; così nelle coppie di metalli questa differenza è diversa pei diversi metalli, ma in generale è molto maggiore che nelle coppie di due conduttori umidi.

3.° È indipendente dalle cariche delle coppie, perchè il suo effetto è costante sia che i corpi accoppiati si trovassero prima allo stato naturale, sia che possedessero già prima, od acquistassero dopo, qualche carica elettrica. Se, per esempio, allo zinco unito al rame, che trovasi elettrizzato in più, si aggiunge altro elettrico, questo corre oltre la superficie di unione, si diffonde anche nel rame distribuendosi nella coppia come farebbe in un solo corpo conduttore; così che sussiste ancora nei due corpi la differenza primiera di tensioni elettriche, qualunque sia la carica comunicata. Se, per esempio, il rame che è elettrizzato in meno si mette in comunicazione col suolo, onde riacquista lo stato naturale, la forza elettromotrice fa entrare al tempo stesso nello zinco altro elettrico finchè la tensione sola dello zinco si uguaglia alla differenza voluta delle tensioni.

Giova considerare un po' più davvicino l'effetto della forza [illegible]ttromotrice. Le due elettricità della coppia hanno tendenza [illegible]elidersi; e se malgrado la conducibilità dei corpi accoppiati [illegible] si elidono, egli è che la forza elettromotrice lo vieta, o[illegible]do quasi come un coibente frapposto. Ma per codesta [illegible]za deve seguire che le due elettricità siano assai più [illegible]iate nelle superfice di contatto che nelle altre parti, [illegible] in tanta prossimità si dissimulino a vicenda, cosicchè [illegible]one ricsca debolissima e appena sensibile all'elettroscopio [illegible]e. Disgiunti i due corpi, le due elettricità manife-

stano liberamente la loro tensione ed operano sull'elettroscopio molto meglio di prima, e tanto meglio quanto più estese erano le superficie di contatto.

I corpi conduttori che accoppiati risentono più energica l'azione elettromotrice (*conduttori di primo ordine*) si può ordinarli in una serie tale che ciascheduno, messo a contatto con uno qualunque dei successivi, si elettrizza in più, e con uno qualunque degli anteriori si elettrizza in meno (*serie di tensione dei conduttori di primo ordine*). La differenza elettrica che due corpi assumono al mutuo contatto è tanto più grande quanto più distanti sono i due corpi l'un dall'altro nella serie. I due corpi estremi di questa fanno dunque la coppia di massimo effetto.

Si trova inoltre che la differenza elettrica per due corpi quali si vogliano della serie uguaglia la somma delle differenze elettriche di tutti i corpi intermedii. Perciò la differenza elettrica di due corpi riesce dello stesso valore, sia che i due corpi si tocchino l'un l'altro, sia che comprendano in mezzo parecchi altri corpi della serie. Ecco un estratto della serie di tensione: zinco, piombo, stagno, ferro, rame, argento, oro, platino, carbone.

412. *Invenzione della pila.* In Fisica una grande scoperta è presto applicata alla costruzione di qualche strumento cospicuo; pare quasi che la scienza sia sollecita di erigere essa medesima il monumento della nuova sua conquista. La scoperta della elettricità di contatto ci valse la pila, quella maestosa colonna innalzata sui confini della Fisica e della Chimica per attestare l'alleanza delle due scienze, la quale maestosa colonna, come poeticamente disse V. Monti, mise la natura stessa in timore d'esser vinta dall'arte.

Il fine che Volta si propose e conseguì nella invenzione della pila fu di approffittare dei caratteri della forza elettromotrice per accrescere le tensioni elettriche prodotte da essa forza sommando le tensioni omonime di molte coppie. Ecco la pr[illegible] costruzione dalla quale l'apparecchio prese il nome di pil[illegible]

Un disco di rame sia in comunicazione col suolo; su qu[illegible] primo disco di rame si adatti un disco di zinco; la forza [illegible]tromotrice opera all'istante e spinge dal rame allo zinco [illegible] dose di elettricità, il rame al tempo stesso ripara la perdi[illegible] tirando elettricità dal suolo; così il 1.° rame (fig. 276) [illegible] nato allo stato naturale, ha tensione zero, e il 1.° [illegible] una tensione positiva eguale appunto a quella differen[illegible]

sioni che è propria della coppia rame-zinco. Si chiami t questa tensione.

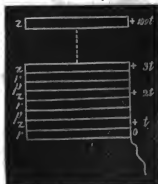



Fig. 276.

Suppongasi ora di mettere a contatto dello zinco un terzo pezzo che sia di rame; questo tende a versare del proprio elettrico nello zinco sottoposto con una forza eguale appunto alla tensione elettrica t di esso zinco, e però si mantiene allo stato naturale, e non si è guadagnato nulla.

Per poter aggiungere tensione a tensione fa d'uopo che questo 2.° rame acquisti la medesima tensione t dello zinco; e come fare perchè l'acquisti? Bisogna separarlo dallo zinco per mezzo di un corpo che sia conduttore, ma tanto debole elettromotore che la sua azione elettromotrice si possa trascurare; tale è, per esempio, un panno imbevuto di acqua salsa. Fatto ciò, il disco di panno bagnato ed il 2.° rame si mettono in equilibrio elettrico collo zinco sottoposto, ricevendone la elettricità necessaria, senza che però diminuisca la tensione t di esso zinco, perchè la forza elettromotrice della prima coppia porta subito la tensione dello zinco al giusto grado, attingendo elettrico dal suolo. Anche il 2.° rame ha dunque la tensione t.

Si continui a costruire la pila coll' ordine qui stabilito: rame, zinco, panno bagnato, rame, zinco, panno bagnato, ecc. Si collochi dunque un 2.° disco di zinco sul 2.° rame. Con ciò si genera una nuova forza elettromotrice, e la differenza della tensione dei due nuovi dischi dev' essere uguale a t come quella dei due primi; ora, siccome il 2.° rame non può avere una tensione minore di t in causa della forza elettromotrice che opera nella prima coppia con la quale è in comunicazione, [illegible] il 2.° zinco deve assumere una tensione uguale a $2t$ me[illegible]te una derivazione di elettrico dal suolo attraverso del si[illegible]a, il 2.° panno e il 3.° rame avranno pure una tensione [illegible]le a $2t$; il 3.° zinco una tensione uguale a $3t$, il 4.° zinco [illegible] tensione uguale a $4t$..... il 100° zinco una tensione [illegible] a $100t$. Ecco fatta una pila che, salvo il 1.° rame che [illegible]municazione col suolo, è tutta carica di elettricità po[illegible] in cui la tensione dei dischi di zinco cresce dalla [illegible] sommità proporzionalmente al numero delle coppie [illegible] la figura 276).

Se si costruisce la pila invertendo in ciascuna coppia la posizione relativa dei metalli, cioè ponendo in comunicazione col suolo un disco di zinco e sopra di questo un disco di rame, poi un panno bagnato, e così di seguito, si dimostra ragionando similmente (fig. 277) che essa è tutta elettrizzata in meno, salvo il 1.° zinco che essendo in comunicazione col suolo, è allo stato naturale, e che la tensione negativa dei dischi di rame cresce nelle coppie successive in ragione del numero di esse.

Fig. 277.

Se la pila si costruisce su di un isolante, e si pone per primo un disco di rame, è evidente che la forza elettromotrice delle coppie successive, non potendo più derivare elettrico dal suolo, deve cavarlo dai pezzi inferiori e quindi la metà inferiore della pila sarà elettrizzata in meno e la metà superiore elettrizzata in più appunto coll'elettrico tolto alla inferiore; se non che quando le coppie siano in numero pari, il passaggio dallo stato negativo al positivo sarà segnato da due dischi allo stato naturale, l'uno di zinco e l'altro di rame. Sì nell'una come nell'altra metà la distribuzione elettrica, si farà con legge tale che sussista fra i metalli d'ogni coppia la differenza di tensione voluta dalla natura della coppia rame-zinco, e però il rame inferiore e lo zinco superiore saranno elettrizzati in egual grado, ma quello in meno e questo in più, e sarà lo stesso di tutti i pezzi equidistanti dagli estremi; e la somma delle tensioni di tutta la pila sarà zero. (Tale distribuzione elettrica si vede nella figura 278 che può dirsi rappresenti la pila isolata che si avrebbe col mettere capovolta la pila della figura 277 sotto la pila della figura 276, interponendo però alle due pile un disco di panno umido).

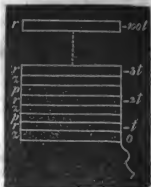
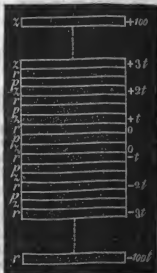



Fig. 27

In una pila isolata costruita come sopra la tensione positiva è sempre all'estremità zinco, e la negativa all'estremità rame; queste estremità si chiamano d'ordinario *polo zinco* o *positivo*, *polo rame* o *negativo*.

413. *Corrente elettrica.* Se si mettono in comunicazione tra di loro i due poli di una pila isolata, sia per mezzo del nostro corpo toccando con una mano un polo e con l'altra mano l'altro polo, sia per mezzo di un filo metallico, o di un sistema qualunque di corpi conduttori, cessano i segni di tensione, ed invece si ha un commovimento elettrico continuo lungo i corpi che fanno la comunicazione, come attestano parecchi fenomeni che verremo discorrendo. Gli è che l'elettricità si trasmuta dal polo positivo al negativo attraverso dei corpi interpolari tendendo all'equilibrio, il quale tuttavia non si raggiunge mai perchè la forza elettromotrice pronta e continua viene ricaricando la pila di continuo. Questo trasmutarsi continuo dell'elettrico fu detto *corrente elettrica* perchè si immaginò che l'elettricità corra per la via di comunicazione dal polo positivo al negativo. Fu convenuto altresì che la direzione della corrente elettrica sia quella che si avrebbe nella ipotesi di un fluido solo, e però si dice che nella pila a circuito chiuso la corrente va dal polo positivo al negativo nei corpi interpolari e dal negativo al positivo nell'interno della pila. Ma non è certo che il medesimo elettrico percorra in massa da un capo all'altro i corpi interpolari e la pila, è anzi più probabile che la trasmissione si faccia per una serie di decomposizioni e ricomposizioni di elettrico e di materia pesante tra gli strati contigui del circuito.

D' ordinario si aggiungono alle due estremità della pila dei fili metallici che servono a dirigere la corrente nei corpi; questi fili si chiamano *reofori* od *elettrodi* (vie dell'elettrico, da ὁδός, via), e propriamente si chiama *anodo* quello al polo positivo, *catodo* quello al negativo.

La costruzione della pila fu poi variata moltissimo e nella forma e nel genere delle sostanze adoperate. Ora si hanno, come vedremo, diverse pile con proprietà peculiari di azione.

414. *Tensioni della pila. Quantità di elettrico della corrente.* Le tensioni nelle diverse coppie di una pila, ed anche nei due poli dove esse toccano al grado più alto, sono debolissime in confronto di quelle della elettricità di attrito. Una [illegible] di Leida le cui due armature si facciano comunicare [illegible] di una pila si carica in un subito, ma la carica [illegible]ma.

Si può esplorare le tensioni delle coppie di una pila col-l'elettrometro condensatore. Si trova che la distribuzione elettrica è bensì conforme alle vedute di Volta, in quanto che nella pila isolata v'è una parte media allo stato naturale da cui le tensioni progrediscono verso i due poli; ma si trova che le tensioni progrediscono un po' meno rapide che il numero delle coppie.

Vuolsi distinguere le tensioni ai poli della pila dalla quantità di elettrico che la pila può mettere in corso. La tensione dipende principalmente dal numero delle copie e non dipende dall'ampiezza loro. La quantità di elettrico invece cresce al crescere la superficie delle coppie.

415. *Alcuni effetti della corrente della pila. Effetti chimici. Elettrolisi.* La corrente della pila produce nelle sostanze collocate fra i due reofori a chiudere il circuito effetti maravigliosi chimici, fisici, fisiologici, i quali sono alquanto diversi da quelli dell'elettricità di attrito, perciocchè nella pila l'elettricità ha debolissima tensione, ma transita di continuo, e nelle macchine elettriche ordinarie l'elettricità ha tensione forte ma erompe in un tratto.

Carlisle e Nicholson il 30 aprile 1800 decomposero l'acqua con la corrente voltiana. Essi per ripetere le esperienze di Volta avevano costruito all'infretta una pila con monete di rame e dischi di zinco e di cartone. Dopo alcune prove sentirono odore d'idrogeno; sospettarono che la corrente elettrica decomponesse l'acqua ond'erano zuppi i dischi di cartone, e a vedere se la corrente avesse tale virtù la fecero passare attraverso all'acqua in un bicchiere per mezzo di due fili metallici immersi, i cui capi erano poco discosti l'uno dall'altro. Tosto l'idrogeno apparve in bollicine che sorsero dal capo del filo negativo, e il capo del positivo prese ad ossidarsi visibilmente. Fatta la prova con reofori di platino o d'altro metallo non ossidabile, si ha svolgimento di gas alle estremità [illegible] ambedue i reofori, gas idrogeno al catodo, gas ossigeno [illegible] l'anodo; e raccolti i due gas separatamente in due campan[illegible] di vetro immerse piene d'acqua sopra quelle estremità (fig. 27[illegible] e misuratili, si trova che i loro volumi, tenuto conto di [illegible] piccola perdita un po' diversa dall'uno all'altro in ca[illegible] assorbimenti ineguali di essi da parte dell'acqua, so[illegible] giusta proporzione che si vuole a comporre l'acqua. [illegible] gersi dei gas è più rapido se aggiungesi all'acqua [illegible] solforico ad accrescere la conducibilità [illegible]

Con la pila si decompongono in simil modo le altre sostanze composte quando siano ridotte allo stato liquido, o per fusione, o per soluzione; si decompongono gli ossidi e gli acidi, l'ossigeno va al polo positivo, il radicale al negativo; si decompongono i sali. Per la pila si conobbe che le terre e gli alcali fissi, sono tanti ossidi metallici.

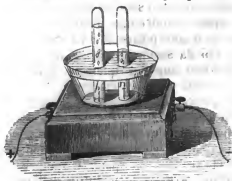



Fig. 279

La decomposizione di un corpo col mezzo della corrente elettrica si dice *elettrolisi;* il corpo che si può decomporre con la corrente si dice *elettrolito.* I componenti in che si risolve l'elettrolito si chiamano gli *ioni* di esso, e più particolarmente quell' ione che comparisce all' anodo si dice *anione*, quello che al catodo *catione.*

L'acido cloridrico dà cloro all'anodo, idrogeno al catodo; la soda, la potassa danno come anione l'ossigeno, come catione il sodio, il potassio: questi due alcali furono decomposti la prima volta da Davy appunto con la pila. Il solfato di soda porge acido solforico per anione e soda per catione. L'acido solforico non è decomponibile alla corrente elettrica, non è un elettrolito.

Quando l'elettrolito non è solo ma è sciolto in un liquido, e d'ordinario il solvente è l'acqua, l'elettrolisi non è semplice ma è molteplice; e talvolta alcuni componenti dei diversi elettroliti si combinano insieme a fare un ione composto od anche a riprodurre del solvente. Se si elettrolizza una soluzione acquea di joduro di potassio si ottiene iodio all' anodo, idrogeno e potassa al catodo; se si elettrolizza una soluzione acquea di vitriolo di rame (acido solforico ed ossido di rame) si ha acido solforico del vitriolo, e l'ossigeno dell'acqua all'anodo, rame puro al catodo; quivi l'idrogeno dell'acqua si unisce all'ossigeno dell'ossido di rame e ricompone acqua.

[illegible]. *Leggi dell' elettrolisi. Intensità delle correnti. Volta*[illegible] L' elettrolisi presta un mezzo di misurare le quantità [illegible] somministrate dalle correnti, e di paragonare tra [illegible]sità delle correnti diverse, appunto per le quan[illegible]scuna corrente volge in un medesimo

tempo. Ecco il come. L'esperienza provò che una medesima quantità di elettrico di una corrente ha sempre una medesima virtù elettrolitica, cioè decompone sempre una medesima quantità d'acqua. Di fatti, nell'arco interpolare di una forte pila siano intromessi due apparecchi da scomporre acqua (fig. 279); si trova che i gas svolti nell'uno sono in quantità uguali a quelli svolti nell'altro; e l'uguaglianza c'è sempre, comunque differiscano tra loro i due apparecchi, sia nella distanza degli elettrodi, sia nel grado di acidulazione dell'acqua. Ciò prova che l'effetto di elettrolisi non dipende punto dalle condizioni particolari degli apparecchi, ma dipende solo dalla quantità di elettrico passante per l'elettrolito, la quale è sempre la medesima nei due apparecchi, giacchè le quantità dell'elettrico passante per due sezioni qualunque della medesima corrente non ponno essere diverse. Se la corrente di una medesima pila si fa transitare a un tempo per tre apparecchi da scompor l'acqua comunque diversi, ottiensi in tutti e tre una eguale quantità di gas, ma la somma delle tre quantità svolte in un certo tempo è minore della somma delle due quantità che si avrebbero nell'egual tempo se la corrente passasse per due soli apparecchi. Di qui si vede che un apparecchio introdotto nel circuito accresce resistenza al passaggio dell'elettrico, onde la corrente riesce meno forte, ma si vede ancora che quantità uguali di elettricità corrente danno effetti uguali di scomposizione. Altra prova: se ad una corrente elettrica si offrono contemporaneamente più strade, ella si suddivide fra queste; e si trova che le quantità di gas svolte dalle singole correnti parziali uguagliano in somma la quantità di gas svolta nel medesimo tempo dalla corrente indivisa. Giovi un esempio. Una corrente passi per un filo (*mn*, fig. 280) dove si trovi un

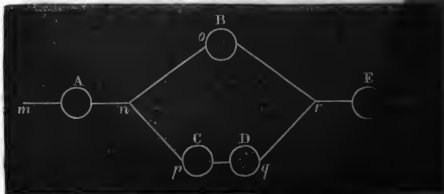



Fig. 280.

apparecchio di analisi dell'acqua (A), e dopo venga a dividersi per due rami (*nor*, *npqr*), in uno dei quali vi sia un apparecchio di analisi (B), nell'altro vi siano due apparecchi (C, D), in fine la corrente si raccolga in un filo solo (*rs*) dove passi ancora per un apparecchio di analisi (E). Le quantità di gas raccolte nei due apparecchi (C, D) di un ramo sono eguali tra loro, e la somma di esse con quella raccolta nell'apparecchio (B) dell'altro ramo uguaglia la quantità data dal primo apparecchio (A) che è nella corrente innanzi che si divida, come pure uguaglia la quantità data dall'ultimo apparecchio (E) che è nella corrente riunita. Dunque una certa corrente è atta a decomporre una certa quantità di acqua proprio per la quantità di elettrico che essa mena; che se la corrente si suddivide, allora come la quantità di elettrico che passa per tutti i rami è uguale a quella che passa pel tronco, così anche la somma delle elettrolisi in tutti i rami è uguale alla elettrolisi nel tronco.

Un'altra bella legge si è che la virtù elettrolitica fa uguale effetto in ogni elettrolito. Se una corrente che passa per un apparecchio di analisi dell'acqua si fa passare al tempo stesso anche per un apparecchio simile che contenga un altro elettrolito qualunque, si trova che gli ioni di questo equivalgono per quantità chimica agli ioni dell'acqua [1]; e l'equivalenza si verifica per gli ioni di una serie qualunque di elettroliti che una corrente attraversi. L'azione elettrolitica di una cor-

[1] Nelle composizioni chimiche può una sostanza pigliare il luogo di un'altra e farne in certo modo le veci unendosi a quella o a quelle sostanze a cui l'altra era unita. Le sostanze, nel sostituirsi così le une alle altre in le chimiche composizioni, serbano sempre fra loro un medesimo rapporto di quantità. Per esempio, detto 100 un certo peso di ossigeno, è 1350 il peso dell'argento, che unito a quell'ossigeno fa l'ossido d'argento, è 403 il peso [illegible]llo zinco che può sostituirsi al peso suddetto di argento e fare col peso [illegible] di ossigeno l'ossido di zinco, è 1294 il peso del piombo che può sosti[illegible]irsi o a quel medesimo peso di argento o a questo peso di zinco e fare [illegible]l peso 100 di ossigeno l'ossido di piombo. In queste combinazioni un peso [illegible]0 di argento equivale dunque a un peso 403 di zinco, a un peso 1294 di [illegible], ecc. La medesima equivalenza numerica regge per tutte le altre [illegible]ioni in cui le dette sostanze possono sostituirsi le une alle altre. E [illegible]l per tutte le sostanze in tutte le composizioni. Codesti pesi chia[illegible] *equivalenti* delle sostanze.
[illegible] equivalente dell'ossigeno, che si assume per base metrica e si rap[illegible] con 100, si ricavano gli equivalenti delle basi che esso forma col [illegible]icali; dagli equivalenti delle basi si ricavano quelli degli acidi [illegible]ono saturati, e la somma delle basi e degli acidi costituisce gli [illegible] sali. E così di maglia in maglia si ritrova tutta la rete dei [illegible]ioni che collegano armonicamente l'universa natura ».

rente è dunque invariabile al variare dell'elettrolito. Per questa legge la quantità di elettrico menata da una corrente si può desumere dalla quantità di un elettrolito qualesivoglia che ne venga decomposto, od anche solo dalla quantità di un ione qualesivoglia che ne risulti. Due correnti che in tempi diversi decompongono quantità eguali di un medesimo elettrolito, per esempio di acqua, o, ciò che torna lo stesso, decompongono quantità equivalenti di elettroliti diversi, portano in quei tempi diversi quantità eguali di elettrico.

La *forza* o l'*intensità* d'una corrente vuolsi valutare dalla quantità di elettrico ch'ella porta in un tempo dato. È chiaro che sarà tanto più intensa una corrente quanto più acqua ella decompone in un tempo dato, o quanto più breve è il tempo ch'ella spende a decomporre una data quantità di acqua. Così col mezzo d'un apparecchio da scomporre acqua che abbia le campanelle graduate per misurare i gas, si può mettere a confronto le intensità delle diverse correnti. Perciò l'apparecchio si dice misuratore delle correnti voltiane o *voltametro*. D'ordinario si adopera un apparecchio ad una sola campana graduata dove si raccolgono insieme i due gas. Fissato come unità di tempo il minuto primo, si designa l'intensità d'una corrente col numero dei centimetri cubici del gas tonante dato in quella unità e ridotto a 0° C., e sotto la pressione atmosferica normale di $0^m,76$.

Quando si vuol esattezza bisogna adoperare il voltametro in altro modo: misurare il solo idrogeno della elettrolisi, e non l'ossigeno o la miscela dei due gas; fare gli elettrodi a piccola superficie; cangiare l'acqua acidulata del voltametro ad ogni nuovo esperimento, o almeno riscaldarla perchè si risolva l'acqua ossigenata che vi fosse. Le ragioni di ques[illegible] cautele sono: che l'acqua discioglie in sè una porzione [illegible] due gas, ma più di ossigeno in equivalenti che di idrog[illegible] un'altra parte di ossigeno va perduta a fare dell'acqua [illegible] genata; ed un'altra parte aderisce alla superficie del pla[illegible] ed anche vi opera delle ossidazioni che alternate con [illegible] zioni del metallo finiscono a disgregarlo sensibilme[illegible] miscela dei due gas nel voltametro ad una campan[illegible] trasmuta in combinazione e forma dell'acqua per [illegible] ciale influenza del platino; e ciò anche quando gli [illegible] non emergano dal liquido: allora la miscela si di[illegible] liquido ed ivi per virtù del platino si converte in [illegible] anche in acqua ossigenata, e lascia che altra [illegible] si disciolga, la quale pure diventa acqua, [illegible]

Non vuolsi dimenticare che il voltametro introdotto nel circuito accresce la resistenza al moto dell'elettrico, e però diminuisce molto l'intensità della corrente. Rimosso il voltametro, la intensità della corrente è maggiore di quella che l'istrumento assegna.

416. *Trasporto dei componenti nella elettrolisi.* Nelle decomposizioni chimiche fatte dalla corrente elettrica, non v'è soltanto la separazione dei componenti, ma v'è la comparsa degli uni al polo positivo, degli altri al negativo, come se dal luogo dove una molecola fu decomposta le sue diverse parti vengano trasportate elettivamente quali all'un polo quali all'altro. E questa sorta di trasporto si effettua anche per lungo cammino. Due vasi contengano una soluzione di solfato di soda, comunichino tra loro per mezzo di un fascetto di fili d'amianto imbevuto della soluzione medesima; peschi nell'uno l'elettrodo positivo, nell'altro il negativo: il sale viene decomposto e dopo un certo tempo tutto l'acido solforico si trova nel primo vaso, tutta la soda nel secondo.

I due vasi contengano acqua, e si mettano in comunicazione tra loro col mezzo del nostro corpo immergendo un dito nell'uno e un dito dell'altra mano nell'altro; l'idrogeno si svolge sull'elettrodo negativo, l'ossigeno sul positivo. Il trasporto si fa dunque attraverso il nostro corpo.

Tre vasi (A, B, C, fig. 281) contengano il primo una soluzione di solfato di soda, il secondo tintura di viole diluita, il terzo acqua pura, e comunichino tra loro per fascetti di amianto inumiditi. Passi la corrente nel sistema, per esempio dall'ultimo vase (C) verso il primo (A). Il solfato si decompone, la soda rimane nel

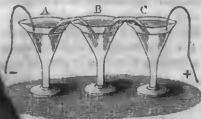



Fig. 281.

[illegible]o vaso dove pesca il polo negativo, e tutto l'acido compare [illegible]ltimo vaso dove pesca il polo positivo. Se la corrente [illegible]al primo vaso all'ultimo, l'acido resta nel primo e la [illegible]presenta nell'ultimo. In ambedue i casi la tintura di [illegible] vaso medio non muta colore, non si arrossa pel pas[illegible]l'acido, non s'inverdisce pel passaggio della base. [illegible]e per molti altri elettroliti posti nei vasi estremi [illegible]ture o soluzioni poste nel vaso medio; ma tal-

volta l'affinità della sostanza trasportata per la sostanza contenuta nella soluzione del vaso medio fa che quella si fermi in questo e vi formi una combinazione; e talvolta la corrente elettrica fa un cambio di base o di acido con la soluzione media ch'ella attraversa, cedendole l'acido o la base che vi reca e ricevendone l'acido o la base del sale disciolto.

Si dà ragione dell'elettrolisi coll'ammettere che gli elementi in ogni composto siano già prima o si costituiscano in uno stato elettrico gli uni positivo gli altri negativo, e vengano a separarsi per effetto delle attrazioni e ripulsioni esercitate dai poli della pila e dalla corrente che attraversa l'elettrolito.

In quanto al trasporto degli elementi ai due poli è felice la spiegazione proposta da Grotthus. L'elettrolito sia, per esempio, l'acqua. Si immagini una serie di molecole d'acqua disposte in una linea che abbia i suoi termini ai due poli. Per l'influenza delle elettricità contrarie dei due poli avviene che nelle molecole d'acqua vicine all'un polo e all'altro si rivolgano verso il polo positivo gli atomi di ossigeno i quali sono in istato elettrico negativo e verso il polo negativo gli atomi di idrogeno il cui stato elettrico è positivo. Per l'influenza poi delle elettricità contrarie degli atomi di queste molecole estreme avviene che anche nelle molecole successive d'ambo i lati i componenti si rivolgano in modo simile. Ecco una sorta di polarità o di orientazione molecolare elettrica lungo tutta la fila (polarità rappresentata nella figura 282, dove in ciascuna molecola a, b l'atomo d'ossigeno è rivolto al polo positivo, i due atomi d'idrogeno sono rivolti al negativo). Se ora la conducibilità del liquido basta al passaggio dell'elettrico,

Fig. 282.

onde ha luogo la corrente, questa in suo viaggio promov[illegible] disgiunzione degli elementi: i due atomi d'idrogeno della pr[illegible] molecola (a) contigua al polo positivo si staccano dall'a[illegible] d'ossigeno, il quale resta libero e si svolge, e passano a [illegible] narsi coll'atomo d'ossigeno della seconda molecola (b[illegible] due atomi d'idrogeno passano a combinarsi coll'atom[illegible] geno della terza molecola (c), ecc. Intanto al polo ne[illegible] fa un processo inverso; l'atomo d'ossigeno della pri[illegible] cola contigua al polo si stacca dai due atomi di i[illegible] quali restano liberi e si svolgono, e passa a co[illegible]

due atomi d'idrogeno della seconda molecola, ecc. Così mentre ai due poli diventano liberi i due gas diversi delle molecole estreme, succede in tutte le altre molecole una scomposizione ed una composizione di essi gas che ricostituisce di continuo lo stato liquido. Ciò che si è detto per l'acqua si applica agli altri elettroliti.

Alcuni pensano che lo stato elettrico degli elementi sia una condizione primitiva loro propria anteriore ad ogni effetto della corrente, e distinguono gli elementi in *elettro-positivi* ed in *elettro-negativi*. Altri si oppongono adducendo il fatto che un medesimo elemento si trova essere elettro-negativo in una combinazione, elettro-positivo in un'altra; per esempio, il cloro combinato coll'idrogeno è elettro-negativo, giacchè nell'elettrolisi dell'acido idroclorico si trasferisce al polo positivo, e combinato coll'ossigeno è elettro-positivo, giacchè nell'elettrolisi degli acidi clorici si trasferisce al polo negativo. Costoro sono di avviso che la corrente stessa, quando si mette in un conduttore liquido composto, ne polarizza le molecole, cioè conferisce a certi elementi lo stato positivo a certi altri lo stato negativo, onde può un medesimo elemento ricevere o questo o quello stato, secondo la qualità dell'elemento con cui è congiunto.

Forse lo stato elettrico degli elementi non è nè una proprietà originaria nè una condizione indotta dalla corrente, ma viene a costituirsi nell'atto che gli elementi si uniscono chimicamente insieme.

417. *Effetti fisici. Calore.* Gli effetti fisici principali sono di calore e di luce.

Un filo di metallo messo a congiungere i due reofori si riscalda e, se non è troppo grosso e lungo, si arroventa, si fonde, evaporizza. Gli effetti calorifici della corrente dipendono piuttosto dalla quantità dell'elettrico circolante che dalla tensione, [illegible] dipendono più dall'ampiezza che dal numero delle coppie. [illegible]er una corrente voltiana a molta quantità di elettrico [illegible] i metalli si fondono; anche l'iridio e il platino che resi[illegible] ai fuochi di fucina più intensi: i fili di rame, d'oro, di [illegible]o si volatilizzano prontamente con vive scintille a diverso [illegible] L'acqua attraversata dalla corrente elettrica si riscalda, e [illegible]ù quanti maggiori ostacoli la corrente vi trova; per [illegible] l'acqua di cui è imbevuto un fusto vegetale, che non è [illegible] ma è interrotta dai diaframmi che formano una serie [illegible] si riscalda facilmente. Pare che contribuisca agli [illegible]ci la resistenza che l'elettrico incontra a passare

da un corpo ad un altro o da molecola a molecola in un medesimo corpo. De-la-Rive attribuisce lo svolgimento di calore al conflitto inasprito da questa resistenza. Vero è che nei metalli la facilità a diventare incandescenti è in ragione inversa della loro conducibilità. Quanto alla conducibilità per la corrente i principali metalli sono disposti nell'ordine che segue, cominciando da quello che ha la conducibilità massima: argento, rame, oro, zinco, stagno, ferro, piombo, platino; e questo pure è l'ordine della crescente facilità ad arroventarsi per la corrente.

Joule, Lenz ed Edmondo Becquerel cercarono con diversi metodi le leggi degli effetti calorifici delle correnti elettriche nei fili metallici; Becquerel sperimentava su fili collocati ad uno ad uno in un tubo di vetro pieno d'acqua che serviva di calorimetro. Si trovò che:

1.° La quantità di calorico prodotta in un filo durante un certo tempo è in ragione diretta del quadrato della quantità di elettrico che vi passa in quel tempo.

2.° La quantità di calorico è in ragione inversa della conducibilità dei fili, cioè in ragione diretta della resistenza di essi al passaggio dell'elettrico.

3.° Un filo di lunghezza qualesivoglia e di grossezza uniforme, quando conduce una corrente costante si scalda allo stesso grado in tutta la sua lunghezza (1).

Le tre leggi sussistono anche per i conduttori liquidi posti invece dei fili metallici.

Vuol'essere notato che il riscaldamento del filo alla corrente accresce la resistenza di esso; perciò tende a favorire l'effetto calorifico, ma in pari tempo a diminuire l'intensità della corrente; le quali due tendenze sono in opposizione l'una all'altra e finiscono col farsi in certo modo equilibrio tra loro. S[illegible] con qualche mezzo si raffredda una parte del filo arroven[illegible] dalla corrente, subito l'altra parte di filo diviene più in[illegible]descente, e può anche fondersi e bruciare; la ragion[illegible] chiara: siccome col raffreddamento si diminuisce la resist[illegible] d'una parte del circuito, così l'intensità totale della co[illegible] si accresce e produce quegli effetti.

418. *Luce elettrica*. Se alle estremità dei reofori [illegible]

(1) Ed. Becquerel annuncia una quarta legge che ad altri non [illegible] certa: l'elevazione di temperatura è in ragione inversa dell[illegible] tenza del raggio del filo.

pila potente sono applicati due coni di coke o di carbone di legna ben calcinato ed estinto nel mercurio, e si chiude il circuito col fare che le punte dei coni si tocchino, poi si scostano le punte di poco l'una dall'altra, la corrente, che cominciò nel contatto, continua ancora, non ostante il breve intervallo delle punte, e fa brillare tra queste un arco di luce vivissima che emula il sole *(arco voltiano)*. Si usa disporre l'apparecchio in guisa che un cono (*b*, fig. 283) sia fisso, e l'altro (*a*) sia mobile per

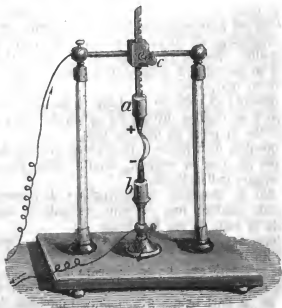



Fig. 283.

[illegible]sta dentata che lo porta, la quale si fa scorrere a mano [illegible]iante un rocchetto (*c*).

[illegible] passaggio della corrente e la luce si può provocare fra [illegible] punte, messe fin dal principio a piccola distanza l'una [illegible]ra, col fare che salti tra di esse una scintilla elettrica. [illegible]ce e il calore intensissimo fra le punte (il platino vi [illegible] come cera; pezzetti di diamante, punte di carbone, [illegible]aggine, si volatilizzano) non sono effetti di combustione [illegible] ottengono anche nel vuoto dove manca il combu-[illegible]no.

[illegible]ifica esperienza della luce elettrica fu fatta la pri-

ma volta da Onofrio Davy nel 1801 con una pila di 2000 coppie zinco-rame aventi ciascuna l'estensione di 206 centimetri quadrati, e però in complesso la superficie di 824000 centimetri quadrati, immersa in acqua acidula. L'arco voltiano si può avere tanto più lungo quanto più forte è la corrente; lo si ebbe lungo più di 7 centimetri. Si produce anche nei liquidi, ma più corto e meno brillante che nel vuoto e nell'aria.

Daniel confermò il fatto già da altri avvertito che in queste prove la corrente trasporta del carbone, o di quel corpo qualunque di cui è fatto l'elettrodo, dal polo positivo al negativo. Il trasporto di molecole dal polo positivo al negativo non pare un fenomeno generale. Van Breda trovò che, fatta passare la luce elettrica nel vuoto tra due palle di ferro, ciascuna di queste perdette di peso, la positiva molto più della negativa. Vi è talvolta, e forse in tutti i casi, una emissione di particelle da ambedue i poli, bensì maggiore dal positivo che dal negativo. Si collocò nel vuoto fra due sferette di rame facenti da elettrodi una grossa lamina di ferro isolata, e si accese la luce con una scintilla elettrica; la sferetta positiva guadagnò in peso 63 milligrammi, e la negativa 360; ambedue si trovarono coperte di molecole di ferro date dalla lamina. I risultati di queste esperienze attestano che la materia viene respinta e dall'uno e dall'altro polo insieme, e che in generale v'è ripulsione fra le particelle metalliche che conducono la corrente.

419. *Effetti della corrente sui vegetali.* L'influenza diretta della corrente elettrica sui vegetali è piccola cosa. È vero che la germogliazione dei semi è favorita ora al polo positivo ora al negativo, ma ciò avviene per un'azione secondaria della corrente, per una conseguenza degli effetti chimici. Si sa che la presenza dell'ossigeno o di un po' di cloro gi[illegible] alla germogliazione, e che gli acidi le nuocono, e gli al[illegible] neutralizzando l'acido acetico che si produce in questa [illegible] zione, tolgono l'impedimento ch'esso farebbe al progres[illegible] lei. Di qui s'intende come i semi su d'una striscia di [illegible] o di terra imbevuta d'acqua pura o di soluzioni saline [illegible] lungo la quale passi la corrente elettrica, abbiano a ger[illegible] più presto ora vicino all'elettrodo negativo ora [illegible] positivo.

Bensì pare che siano per un'azione diretta dell[illegible] i movimenti della *mimosa sensitiva* e della *mi*[illegible]

quando si fa passare una corrente lungo i rami e attraverso le foglie per mezzo di piccole strisce di piombo o di stagno applicate a codeste parti. Dopo un minuto che fu immessa la corrente le foglie si chinano sul ramo, prima quelle a cui sono applicate le strisce di metallo, in seguito parecchie altre qua e là.

Forse porgono grande ajuto a tutta la vita vegetale quelle debolissime ma continue azioni elettriche che si hanno pel mutuo contatto delle sostanze eterogenee del terreno. Conforta questa opinione il vedere che una terra semplice non ammette vegetazione.

420. *Effetti della corrente sugli animali.* Subito dopo l'invenzione della pila si prese a studiare gli effetti della corrente elettrica nell'uomo e nei diversi animali. Galvani ed Aldini eccitarono movimenti nella testa di un bue ammazzato: introdussero un elettrodo in un orecchio e l'altro nelle narici; subito gli occhi si apersero, le orecchie si scossero, si agitò la lingua, le narici si gonfiarono. Più tardi, nel 1818, fu concesso al dottor Ure di fare le prove sul corpo di un uomo appiccato. Uno degli elettrodi fu per via d'incisione messo a contatto col midollo spinale, e l'altro col nervo sciatico denudato. Immantinente le membra tutte diedero un tremito. Piegata in sul ginocchio una gamba del cadavere, si fece movere il secondo elettrodo dall'anca al tallone; la gamba si raddrizzò con tanto impeto da rovesciare uno degli assistenti che invano faceva forza di mantenerla piegata. La corrente ravviata per diverse parti del corpo produsse contrazioni più o meno forti in diversi organi, segnatamente nel diaframma in cui si rinnovò per poco il movimento della vita con un respirare affannoso.

Il passaggio della corrente per i nervi *misti* degli animali [illegible]i, o morti da poco, cioè per i nervi che servono al moto e [illegible]enso, produce contrazioni e sensazioni. Ecco le leggi prin[illegible]li di questi fenomeni.

[illegible]° La corrente agisce sulle fibre motrici di un nervo mi[illegible]ccitando le contrazioni dei muscoli relativi, soltanto nel[illegible]dere il nervo e nel ritirarsene, cioè soltanto al chiudere [illegible]ito ed all'aprirlo; in tutto il tempo che il circuito sta [illegible] i muscoli rimangono allo stato naturale di riposo. Per [illegible]egge l'azione della corrente differisce dall'azione di [illegible]ltro stimolo, la quale continua tutto il tempo che lo [illegible]; e differisce anche dalle altre azioni fisiche e

chimiche della corrente stessa nei corpi dove passa, per esempio, dalle azioni di calore, di analisi, le quali pure sono continue. Ciò è prova che le contrazioni avvengono per virtù diretta speciale della corrente sui nervi, e non in conseguenza di codeste azioni fisiche o chimiche di essa. E ne è prova anche il fatto che le contrazioni seguono immediatamente alla applicazione dell'elettricità.

Ad eccitare la contrazione basta che la corrente passi per un menomo istante; giusta le esperienze di Matteucci basta che passi per $^1/_{10000}$ di minuto secondo. Di qui si vede che la dose di elettrico necessaria all'effetto è piccolissima. Bensì vuolsi che l'eccitamento sia rapido; se l'ingresso dell'elettrico nel nervo si fa non di colpo ma grado grado, per via di cattivi conduttori che vadano imbevendosi poco a poco d'un qualche liquido, non si ha contrazione. Marianini verificò che per ottenere la contrazione nell'istante che la corrente cessa, non è necessario che siasi avuta dapprincipio quando la corrente cominciò; se il circuito fu chiuso con que' cattivi conduttori, onde non si ebbe la contrazione, la si ha poi all'aprire del circuito, o al derivare che si faccia la maggior parte della corrente in un arco di metallo, cosicchè non passi più pel nervo.

2.° La corrente per essere efficace deve passare nella direzione della lunghezza del nervo. Se la corrente attraversa il nervo in direzione perpendicolare alla lunghezza l'azione è pressochè nulla.

3.° Basta che la corrente passi per una breve parte della lunghezza del nervo perchè il nervo tutto quanto ne risenta l'azione.

4.° La corrente elettrica può ridestare l'eccitabilità assopita dei nervi anche quando gli altri stimoli già da lungo tem[illegible] non valgono più.

5.° Se la corrente si dirige secondo la ramificazione [illegible] nervo (corrente *diretta*), si hanno i seguenti fenomeni: al [illegible]minciare della corrente i muscoli nei quali si dirama il ne[illegible] si contraggono forte; poi nessun segno per tutto il temp[illegible] dura la corrente (1.ª legge); quando la corrente si f[illegible] i muscoli si contraggono, ma non così forte come [illegible] v'è dippiù una sensazione dolorosa palesata dallo s[illegible] dall'agitarsi dell'animale paziente. Se la corrente si [illegible] verso opposto alla ramificazione del nervo (corrente [illegible]) al chiudere del circuito si ha contrazione e sensazio[illegible]

rosa; a circuito chiuso nessun segno; all'aprire del circuito una contrazione più forte della prima. Con una corrente debole e dopo che l'eccitabilità del nervo è molto scaduta, la corrente diretta dà la contrazione solo al cominciare, al cessare dà la sola sensazione; la corrente inversa l'opposto, la sola sensazione al cominciare e la contrazione al cessare.

Questa legge importantissima che rivela una virtù specifica della direzione della corrente fu dimostrata da Marianini. Si riferisce ad essa il fatto avvertito pure dal Marianini che noi nel chiudere il circuito di una pila forte, applicando le due mani ai due poli, abbiamo una contrazione molto più forte nel braccio da cui esce la corrente che non nell'altro il quale comunica col polo positivo.

La virtù della corrente elettrica di produrre o le contrazioni o le sensazioni secondo la direzione che tiene, è una virtù singolare sua che la distingue e la privilegia tra tutti gli altri stimoli esteriori del sistema nervoso.

6.° Il passaggio continuo della corrente elettrica, per un certo tempo in una direzione, diminuisce e spegne l'eccitabilità del nervo alla corrente di quella direzione; il passaggio della corrente in direzione opposta ravviva poi e rintegra l'eccitabilità. Se si fa passare per 15 o 20 minuti la corrente nel nervo di una rana, per esempio la corrente diretta, si trova che aperto il circuito dopo questo tempo e poi chiuso tosto di nuovo sulla stessa rana e nello stesso modo, la rana si scuote assai meno che non alla prima introduzione della corrente. Se allora si fa passare nel medesimo nervo la corrente medesima in direzione contraria (corrente inversa), si trova che l'effetto è di nuovo forte e quasi come prima; lasciato chiuso il circuito [illegible]er un certo tempo, s'indebolisce l'eccitabilità del nervo alla [illegible]rrente inversa. Ma se a questo punto si rimette la corrente [illegible] direzione di prima si vede che l'eccitabilità del nervo [illegible]orrente diretta si è ravvivata. Dunque la corrente in[illegible] rese di nuovo eccitabile alla corrente diretta il nervo [illegible]e da principio. Questo fenomeno scoperto da Volta nelle [illegible]ccise da poco; si dice *delle alternative voltiane*. Ma[illegible]rovò che lo si ottiene del pari nell'animale vivo, e [illegible]uesto l'eccitabilità affranta dalla corrente viene ri[illegible]nche dal solo riposo senza il passaggio della corrente

[illegible]

[illegible] animale a cui sia applicata la corrente interrotta che [illegible]minci ad intervalli piccoli di tempo, soffre dolori

atroci; le membra si contraggono, si distendono, diventano tetaniche. In breve tempo l'animale muore anche per una corrente non molto forte. Masson con la corrente interrotta uccise in pochi minuti dei gatti vigorosi, le cui membra diventarono così rigide come sarebbero state dopo 15 giorni dalla morte naturale.

La corrente si può interrompere col mezzo di una ruota dentata introdotta nel circuito, la quale girando porti i suoi denti l'un dopo l'altro a battere una lamina elastica; in ciascun contatto della lamina coi denti il circuito è chiuso, nell'intervallo da un contatto al successivo è aperto. Un uomo che tenga nelle due mani due cilindri metallici da cui riceva la corrente interrotta patisce una serie di scosse dolorosa; coll'accelerare il movimento della ruota si giunge a tale che la contrazione involontaria dei muscoli non permette di aprire i pugni e lasciare i cilindri; le braccia si torcono in sè, il dolore non si può più tollerare, e l'uomo sviene. Se poi la ruota gira più e più veloce, il dolore diminuisce, le contrazioni diventano meno forti e si fondono in un torpore continuo, il quale svanisce anch'esso quando la velocità giunge a dare una intermittenza in circa $^1/_{300}$ di minuto secondo. Questo limite pare che sia un po' diverso per i diversi nervi, per i diversi individui e per le correnti d'intensità diversa.

Possiamo riassumere queste leggi e formarci una qualche idea delle loro condizioni così. La corrente elettrica è lo stimolo esterno meglio efficace del sistema nervoso (4.ª legge); agisce quando va nel verso della lunghezza del nervo (2.ª legge); e l'effetto sensibile suo dipende da una alterazione istantanea che si produce nello stato degli elementi nervosi quando essa entra nel nervo e quando se ne ritira (1.ª legge). Se la corrente procede nel verso delle ramificazioni nervose, cioè nel medesimo verso che procede l'azione nervosa naturale nei movimenti volontari, l'alterazione di stato cagiona movimenti; se la corrente procede nel verso opposto, cioè in quello dell'azione nervosa naturale nelle sensazioni, l'alterazione di stato cagiona sensazioni (5.ª legge). Pare che come nei due casi le direzioni della corrente sono opposte, così anche le alterazioni corrispon[illegible] nei nervi siano opposte. Se il passaggio durò poco gli ele[illegible] nervosi, al cessare della corrente ritornano subito, per la [illegible]lità del sistema, allo stato naturale, onde, rimessa la cor[illegible] si ha di nuovo l'effetto; se il passaggio durò un certo t[illegible] lo stato in che furono condotti e mantenuti per quel [illegible]

gli elementi nervosi, può serbarsi più o meno a lungo anche dopo tolta la corrente; allora la vitalità ha bisogno di qualche tempo a ristabilire lo stato normale; e intanto la corrente, applicata di nuovo come prima, non ha effetto, perchè il nervo è già nello stato ch'ella tende a produrvi. Che se la corrente si applica in direzione opposta, l'effetto è cospicuo perchè produce una inversione di stato negli elementi nervosi (6.ª legge).

La corrente interrotta stanca il nervo coi ripetuti abbattimenti (7.ª legge). È come quando si atterra un nemico, si lascia che si rialzi e lo si atterra subito di nuovo, e così via, che lo si stanca ben più che tenendolo atterrato di continuo. Inoltre in codesto succedersi veloce di movimenti contrarii può essere che le parti del nervo contigue tra loro si trovino a volte in un antagonismo che tende ad alterare la struttura propria del nervo. Quando la rapidità delle interruzioni è grande, l'effetto è quale di corrente continua, per una ragione analoga a quella che il tizzo girato rapidamente dà a vedere un nastro continuo di luce. L'alterazione persiste un poco dopo cessato lo stimolo; perciò gli elementi nervosi trovansi ancora nello stato in che li pose il primo urto, che viene il secondo a tenerveli e poi il terzo ecc. sicchè durano in quello stato non altrimenti che per una corrente continua.

Non sappiamo quale sia la modificazione che la corrente mette nel nervo; ma poichè anche quando la corrente passa per piccola parte di un nervo, questo ne risente l'azione per tutta la sua lunghezza (3.ª legge), pare probabile ch'ella sia una polarizzazione molecolare, che, eccitata in una parte qualunque del nervo, si produce in tutta la lunghezza per la mutua relazione delle molecole. Al che è necessario che le cause efficienti della polarizzazione si trovino già nella costituzione molecolare dei [illegible]ervi; la corrente non le produca, ma le ponga in atto nella [illegible]arte dove passa, e da questa parte vengano poi per la corre[illegible]zione delle molecole a costituirsi in atto anche in tutte le [illegible]tre parti del nervo che non sono percorse dalla elettricità. [illegible]a maniera con che i nervi rispondono allo stimolo elettrico [illegible] ajutare moltissimo lo studio della struttura dei nervi mede-[illegible]

[illegible]iamo un'altra legge la cui interpretazione è meno facile. [illegible]L'ordine degli effetti della corrente in un nervo misto [illegible]o dalla corrente interrotta è contrario di quello che era [illegible]desimo nervo allo stato normale. Preparata la rana come [illegible]sperienze galvaniche (fig. 275, pag. 386), la si mette a

cavalcione su due bicchierini con acqua, nei quali s'immergono gli elettrodi. Nello stato normale si osserva che al chiudere del circuito, si contrae il membro percorso dalla corrente diretta, ed all'aprire si contrae l'altro percorso dalla corrente inversa (5.ª legge). Si fa passare per qualche tempo la corrente interrotta, che indebolisce molto la eccitabilità dei nervi; poi si ripete la prova di chiudere e di riaprire tosto il circuito; allora i fenomeni riescono all'opposto di prima: al chiudere si contrae il membro percorso dalla corrente inversa, all'aprire si contrae l'altro.

L'alterazione fatta dalla corrente interrotta si toglie col mezzo della corrente continua. Se si lascia chiuso il circuito per alcuni minuti, gli effetti della corrente ripigliano l'ordine di prima.

Codesta inversione d'ordine degli effetti della corrente la si ha pure negli animali (conigli, cani), la cui sensibilità è molto diminuita per l'inspirazione dell'etere solforico; ma se tagliansi i nervi nell'animale eterizzato e si opera con la corrente sui tronchi inferiori al taglio, si trova subito che gli effetti sono come d'ordinario. Valentin osservò che anche le rane tenute per poco in un vaso immerso in una mescolanza frigorifica presentano per qualche tempo i medesimi fenomeni degli animali eterizzati.

Tocchiamo gli effetti della corrente su altre parti del sistema nervoso.

Matteucci e Longet studiarono l'azione della corrente sui cordoni o fasci della midolla spinale e sulle radici dei nervi anteriori o motori. Quando i fasci della midolla e le radici dei nervi motori hanno tutta la loro eccitabilità, la corrente, qualunque sia la direzione sua, produce contrazioni violentissime all'aprire e al chiudere del circuito; ma in seguito quando l'eccitabilità è diminuita le contrazioni avvengono solo al cominciare della corrente inversa ed al finire della diretta, cioè oppostamente a quello che si è trovato per i nervi misti (5.ª legge).

La corrente elettrica agisce sui nervi dei sensi producendo in modo continuo le sensazioni relative; se la corrente è forte le sensazioni sono più intense al chiudere ed all'aprire d[illegible] circuito. La sensazione di sapore acido ed alcalino quando [illegible] lingua è interposta a due lame di metallo messe a mutuo co[illegible]tatto (§ 410) è continua. Questa sensazione pare un eff[illegible] immediato della elettricità; il fatto che il sapore si mut[illegible]

mutare la direzione della corrente indusse a pensare sulle prime che la sensazione fosse eccitata dai prodotti dell'elettrolisi; ma non può essere, giacchè la si ottiene anche da correnti debolissime, e poi i sapori provati sono diversi da quelli dei corpi che l'elettrolisi porterebbe ai due poli. Una corrente che attraversa l'occhio fa una sensazione continua di luce, che è più viva negli istanti che si chiude e si apre il circuito. Una corrente che attraversa la parte interna dell'organo dell'udito dà a sentire un fischio continuo per tutto il tempo che il circuito sta chiuso.

L'azione della corrente sul sistema ganglionare è pure continua, ma apparisce qualche tempo dopo che il circuito è chiuso e persiste poi a circuito aperto. Esempi. Humboldt fece passare la corrente attraverso cuori di rane uccise da poco, le cui pulsazioni erano cessate o divenute molto rare; dopo un po' che la corrente passava, le pulsazioni si succedettero con velocità; aperto il circuito, le pulsazioni continuarono frequenti per qualche tempo. Effetti simili fa la corrente sul sistema ganglionare dell'abdome. Chiuso il circuito da un poco, il moto vermicolare degli intestini si accelera; aperto poi il circuito il moto persiste celere.

Ecco un altro bel fatto osservato da Bernard. In un animale vivo si taglia il filetto del ganglio cervicale. Dopo il taglio la temperatura dell'orecchio s'innalza, ed il sangue ristagna nei capillari; allora si applica la corrente al filetto nella parte al di là del taglio; dopo qualche tempo che dura la corrente, la temperatura dell'orecchio torna al grado normale e la circolazione del sangue si ristabilisce. Forse la corrente opera in siffatta maniera quando, applicata ai pneumogastrici, calma i battiti e cessa l'ingorgo sanguigno del cuore. Ma di queste cose più a lungo nella parte delle applicazioni.

421. *Valore delle cognizioni acquistate col metodo induttivo rispetto al legame dei fenomeni. Realtà delle forze rinvenute con esso metodo.* Nello studio fatto intorno alle cause dei fenomeni possiamo noi dire che ci abbia mai confortati il sentimento della certezza? In questo secondo stadio del cammino abbiamo noi potuto fissare alcun che di reale?

Nel metodo induttivo la scienza si attiene, per la sicurezza delle sue dottrine circa il legame dei fatti, da una parte all'argomento della induzione, per cui si crede che la successione di due fatti è costante (§ 249), e dall'altra al postulato della causalità quale viene ammesso dal senso comune (241). Ma, come abbiamo avvertito, l'argomento dell'induzione dà per sè medesimo non la certezza ma solo una probabilità (§ 20): la costanza poi della successione di due fatti non implica la necessità della correlazione causale di essi, e perciò non accerta che l'uno sia causa dell'altro (§ 240). Dunque la scienza, per quel che riguarda la dipendenza dei fenomeni, ha fin qui il carattere non della certezza ma solo della probabilità.

La scienza però col metodo induttivo è salita a riconoscere alcune forze *reali*, ed a definirle. Nè si opponga che le dubbiezze del metodo debbano infirmare il concetto della *realtà* delle forze: no; l'essenza reale di una forza non dipende per nulla dall'argomento dell'induzione, nè dalla colleganza causale dei fenomeni; l'induzione risguarda bensì l'estensione maggiore o minore, o l'universalità del dominio di una forza, ma non l'essenza di essa, a stabilire la quale basterebbe un unico fatto; la colleganza dei fenomeni ci guida, è vero, a trovare il fatto reale supremo di una classe, ma la realtà della forza che poi si ammette dipende puramente dalla natura semplicissima di questo fatto considerato in sè.

Giovi un esempio. L'attrazione newtoniana tra il sole ed i pianeti è una forza *reale*. E invero il moto dei pianeti intorno al sole è un fatto che considerato nelle sue immediate cagioni necessarie, coll'occhio della meccanica razionale, si vede risolversi in una attrazione continua tra il sole ed i pianeti, e in una forza di projezione impressa ai pianeti (§ 329). Le leggi di Keplero con le quali avviene il moto, considerate anch'esse nella medesima guisa, risolvonsi nei caratteri attribuiti d

Newton all'attrazione, pei quali essa opera in ragione diretta delle masse e inversa dei quadrati delle distanze. Per la natura poi di quantità matematica, propria sì del fenomeno moto come delle cause forze, è dimostrabile matematicamente che il moto dei pianeti non si può d'altronde ripetere, pel riguardo meccanico, che da una forza projettile e da una attrazione coi caratteri che Newton le attribuisce, giacchè queste due forze si assumono così semplici che esprimono puramente le due virtù più prossime necessarie a generare quel moto (§ 529, note). Dunque la forza projettile e l'attrazione newtoniana tra il sole e i pianeti esistono come esiste il moto dei pianeti con le leggi di Keplero, e, finchè stanno i fatti, non possono essere diverse da quel che furono definite; in una parola tali due forze, considerate come potenze meccaniche, sono *reali*. Ma si avverta che col dire che sono reali non si asserisce che sono primitive, e nemmeno che sono semplici; si asserisce solo che, qualunque siano le potenze alle quali fu commesso il governo degli astri, la virtù meccanica di esse, nel punto a che Keplero ci ha innalzati, si riassume di necessità in queste due forze. La colleganza dei fenomeni avrebbe potuto bensì guidarci a fissare il moto dei pianeti come fenomeno capitale di classe; l'induzione ci valse, è vero, a conoscere le leggi dell'attrazione e il suo carattere di universale; ma la realtà della attrazione è per noi una conseguenza necessaria immediata del moto dei pianeti considerato in sè, od anche della caduta di un corpo alla superficie della terra. Non ci fosse al mondo che il sole e la terra, non ci fosse che la terra co'suoi corpi, la realtà dell'attrazione sarebbe per noi del pari inconcussa. Non è giusto il dire che la gravitazione è una ipotesi; la gravitazione è una verità di fatto riconosciuta dalla ragione.

Conchiudiamo. Il metodo induttivo registra la dipendenza che i fenomeni particolari hanno l'uno dall'altro, ma non vale a dimostrare la necessità di questa dipendenza; esso ciò non ostante conduce a riconoscere alcune forze reali e a definirle. Vedremo presto come i concetti di tali forze possano generare quella certezza che nella Fisica è dato di conseguire.

422. *Una avvertenza per la ricerca delle cause.* Si suol dire: per conoscere se una cagione assegnata ad un fenomeno sia la vera cagione sua, bisogna innanzi tutto vedere s'ella è propriamente capace di produrre quel fenomeno, giacchè gli effetti sono proporzionati alle cause. La massima nell'astrattezza sua è incontrastabile; ma vuolsi avvertire di non abusarne per

inopportuna applicazione. Nei casi concreti non si può parlare di proporzionalità dell'effetto alla causa se non è già fatta possibile la misura della causa in tutte le sue gradazioni. La massima riferita è il perno legittimo d'ogni articolo nelle questioni di cause già perfettamente note; ma quale utilità può essa recare nelle ricerche induttive che tendono appunto a conoscere e a definire le cause? In tali ricerche essa è non solo disutile ma pericolosa, perciocchè usurpando il posto della massima, doversi dalla grandezza degli effetti argomentare alla grandezza delle cause, inverte l'ordine degli studii sperimentali, e può per avventata sentenza pregiudicare la verità. Diremo noi, per esempio, che da una goccia di acqua non sono da aspettarsi fenomeni poderosi perchè gli effetti sono proporzionali alle cause, ed una goccia d'acqua non è che una goccia d'acqua? Ma una goccia d'acqua sappiamo noi bene che sia? Vedremo che una goccia d'acqua contiene una quantità di elettrico da farne più fulmini. Le forze che reggono la costituzione dei corpi si scorge a molti segni che sono immense; per esprimerne la misura con le nostre unità usuali ci vorrebbe un numero sterminato di cifre. « Dobbiamo riguardare (scrive Mossotti) questo globo e l'universo intero come un gran sistema in equilibrio stabile, in cui le forze impiegate a conservarlo sono enormi. I fenomeni che osserviamo, anche i più violenti, non sono prodotti che dalle differenze minime che nascono nel contrasto di queste forze durante le oscillazioni che avvengono quando l'equilibrio è menomamente rotto ».

Ai segni di tanta vigoria della natura l'immaginazione più robusta si smarrisce, ma poi si raccende nell'idea dei portenti che la scienza e l'arte possono trarre da un minuzzolo di materia, e l'anima si eleva al Creatore, e nel tremito della maraviglia e della gratitudine ne adora l'onnipotenza.

FINE DELLA SECONDA PARTE E DEL TOMO II.

INDICE

DELLE

MATERIE CONTENUTE NEL TOMO II.

PARTE SECONDA

DELLE CAUSE DEI FENOMENI.

PRINCIPII GENERALI.

FENOMENI CELESTI.

DELLE FORZE MOLECOLARI.

ACUSTICA.

DELLA CAUSA DEI FENOMENI OTTICI E DEI FENOMENI CALORIFICI.

DEI FENOMENI ELETTRICI.

CONSIDERAZIONI GENERALI.

FINE DELL' INDICE DELLE MATERIE.